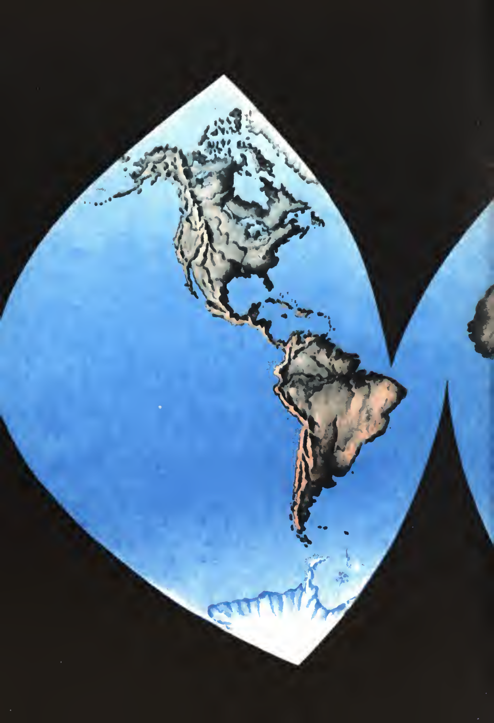


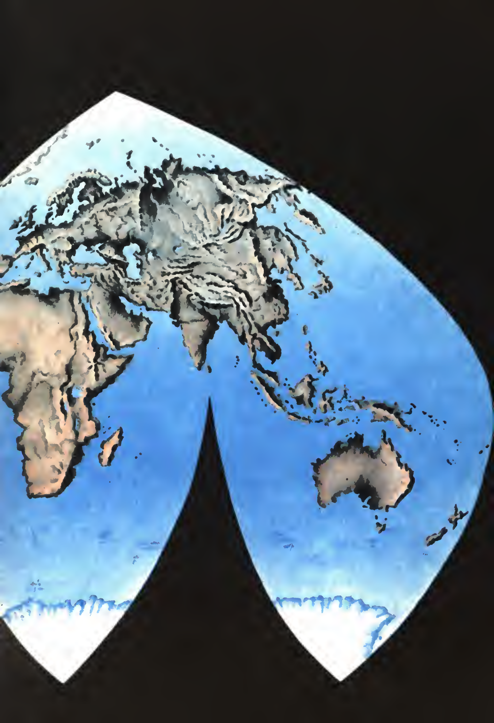
ЗА ТАЙНАМИ НЕПТУНА



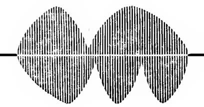
Издательство
«Мысль»

ЗА ТАЙНАМИ НЕПТУНА





XX век: Путешествия Открытия Исследования



551.49
З-12

За тайнами Нептуна. Науч. ред. и послесл.
З-12 А. А. Аксенова. М., «Мысль», 1976.
399 с. с ил. и карт.; 16 л. ил. (XX век: Путешествия. Открытия. Исследования).

Настоящий том этой серии состоит из научно-популярных работ советских ученых, рассказывающих об исследованиях Мирового океана, о важнейших экспедициях и об открытиях, сделанных за последние четверть века.

Книга состоит из четырех тематических разделов: общие вопросы исследования океана, характеристика его вод, дна, жизни в океане.

Текст богато иллюстрирован схемами, графиками, картами и документальными фотоснимками.

З $\frac{20901\text{-}274}{004(01)\text{-}76}$ подписное 551.49

ЗА ТАЙНАМИ НЕПТУНА

Подбор материалов тома,
научная подготовка
и послесловие доктора
географических наук
А. А. Аксенова



Издательство
«Мысль»
Москва
1976

ЗА ТАЙНАМИ НЕПТУНА

К читателям

В отличие от всех остальных книг предлагаемый том серии «XX век: Путешествия. Открытия. Исследования» содержит небольшие очерки советских ученых-океанологов. Это объясняется тем, что в наше время невозможно в одной или даже в нескольких популярных работах рассказать о всех сторонах и проблемах исследования Мирового океана. Наука об океане настолько разрослась вширь и вглубь, что такая задача была бы непосильной для одного ученого. Между тем цель всей данной серии — ознакомить читателей с путешествиями, открытиями, исследованиями по рассказам самих ученых-исследователей и путешественников. Поэтому редакция нашла единственно возможный выход: отобрать для книги об океане наиболее доступные широкому кругу читателей работы советских океанологов последних трех-четырех десятилетий, ранее опубликованные в различных изданиях.

Предлагаемые читателям очерки тематически объединены в четыре раздела. Первый раздел посвящен общим вопросам исследования Мирового океана и некоторым страницам истории его исследования. Во втором разделе дается характеристика океанических вод. В третьем рассказывается о земной тверди океана — удивительно разнообразном по строению океаническом дне. В заключительной части книги говорится о формах жизни в океане, начиная с мелководий и поверхностных вод вплоть до глубочайших, еще мало исследованных океанических впадин и желобов.

Другая особенность книги — ее насыщенность графиками, схемами картами, документальными фотоснимками. Эти иллюстрации в большинстве своем являются неотъемлемой частью текста, наглядно поясняя те или иные затруднительные для словесного объяснения вопросы.

Океан — вторая Вселенная

Курс — Мировой океан

Многолик Океан, разнообразно его влияние на климат и погоду нашей планеты, на пищевые, энергетические и минеральные ресурсы. И люди снова и снова обращаются к его водам.

Куда течет океан? Где берут начало и где заканчиваются его течения? Какие силы поднимают их на поверхность и заставляют опускаться до самого дна?

Новые знания об океанических процессах порой в корне изменяют наши представления о том, что казалось простым, как азбука. Например, если уж согласиться с глобальным перемешиванием океанических вод, то однородность их солевого состава должна сама собой подразумеваться. Конечно же, морская вода всюду одинакова.

Но это не так. Не только в разных океанах и на разных широтах, не только вблизи или далеко от берега с его реками-опреснителями — даже в открытом океане иногда через каждые 10—15 миль морская вода может различаться соленостью, температурой и плотностью. Пусть немного — на доли процента. Но и этих «незначительных» долей достаточно, чтобы в близком соседстве обитали различные виды планктона и моллюсков, рыб и животных. Этих долей процента достаточно, чтобы на расстоянии всего нескольких миль буйковые приборы в одном случае обрастали ракушками и выходили из строя, а в другом — продолжали исправно передавать сведения о состоянии атмосферы и океана.

Как выяснилось во время седьмого рейса «Дмитрия Менделеева» весной 1972 г. в Индийский океан, такие неоднородности встречаются повсюду. У морской воды слоистая структура, притом ее поверхностный слой в свою очередь разбивается на множество микрослоев толщиной в метры или в десятки метров. Горизонтальные слои распадаются на некое подобие «блинов», которые могут иметь в диаметре от 20 м до десятков и сотен километров.

Мы еще не знаем причины возникновения слоистой структуры морских вод. Но по-видимому, свою лепту в их строение внесли конвективное перемешивание и турбулентность. Во всяком случае теперь, когда мы получили возможность с борта исследовательского судна зондировать глубины и вести непрерывные наблюдения в пространстве, эту загадку удастся разгадать. Мы работаем теперь с более совершенной техникой и приборами, оснащенными электроникой. У нас появились термохализонды — измерители температуры, солености и глубины. Они-то и позволили тщательно исследовать сложную структуру вод Индийского океана.

Поверхностные воды океана представляют особый инте- 9
рес, поскольку именно они осуществляют обмен влагой и теплом между атмосферой и океаном. Этот сравнительно тонкий слой вод, до глубин не более сотни метров, подвержен действию сложных механизмов морской турбулентности. Ветер, волны и течения непрерывно создают завихрения, потоки и образуют сложнейший калейдоскоп разнонаправленных сил. Нелегко обнаружить неоднородности в морской воде с помощью несложных приборов вроде ртутных термометров, которыми совсем недавно располагали исследователи. Само по себе явление неоднородности глубинных и в особенности поверхностных вод имеет колоссальное практическое значение: термические и химические свойства воды решающим образом влияют на распределение морских организмов. От этих свойств зависят также оптические и акустические характеристики океана.

Водо-, газо- и теплообмен между атмосферой и океаном происходит именно через его поверхностные слои. И если мы хотим получить четкое представление о климатических процессах на нашей планете, нам необходимо точно знать и особенности структуры вод Мирового океана.

Приблизительно в то же время, когда «Дмитрий Менделеев» исследовал западную часть Индийского океана, на западе Тихого океана работал «Витязь». Экспедицией руководил кандидат физико-математических наук Г. Н. Иванов-Францкевич. Чтобы исследовать течение Кромвелла по всему профилю и на разных глубинах, использовали буйковые станции с самописцами течений. Течение Кромвелла в поперечном сечении имеет форму буквы «П». Оно идет на восток под слоем поверхностного пассатного течения, направленного на запад. Однако внизу, в ложбине этого течения, проходит еще один, тоже мощный, поток. Оказывается, вся эта сложная система

очень стабильна. Даже встретившись на пути с островами, течение лишь огибает их с двух сторон, сохраняя первоначальную структуру.

В последние годы обнаружены течения и противотечения глобального масштаба, о которых тысячелетиями и не подозревали плавающие по океанам моряки. Экспедиция в двенадцатом рейсе «Академика Курчатова» исследовала гидрофизические свойства океана в Атлантике. Изучались преимущественно крупномасштабные процессы. Под руководством профессора В. Г. Корта, удостоенного Государственной премии за исследование системы тропических течений Атлантики, проводились подробные из-
10 мерения самописцами течений на буйковых станциях. Работа эта трудоемка, зато дает возможность получить более точную информацию об изучаемом процессе, чем с борта корабля.

Разумеется, исследование Мирового океана невозможно без кораблей, оснащенных современной техникой. Однако в последние годы все большую популярность завоевывают скромные буйковые станции с различными гидрологическими приборами. Они способны нести службу многие недели, а то и месяцы. И если учесть, что такие станции контролируют свой участок длительное время, то видно их преимущество перед самыми великолепными судами. Ведь любому кораблю стоит больших усилий неподвижно удерживаться в определенной точке. Буйковые станции относительно недороги и места занимают немного. В случае необходимости их можно разместить в любом количестве на большом исследовательском полигоне. И тогда океанические процессы на этой акватории предстанут не только в пространстве, но и во времени. А это очень важно для получения истинной картины.

Изучать циркуляцию вод и атмосферные явления в тропических районах Мирового океана особенно интересно. Для тропиков характерны постоянные квазистационарные пассатные ветры. Там зарождаются многие мощные течения. Их структура как по горизонтали, так и по вертикали чрезвычайно сложна, да и направлены они в различные стороны. Как выяснилось в прежних экспедициях, структура и направление глубинных течений и противотечений не менее сложны, чем на поверхности.

До 1969 г. схему течений в тропической Атлантике представляли примерно так: вдоль Бразилии проходит Гвианское течение (продолжение Южного пассатного), близ Малых Антильских островов часть вод переходит в Карибское море, остальные направляются на северо-запад и

называются уже Антильским течением. С севера к этому району подходит Северо-Пассатное течение. Когда на «Курчатове» исследовали систему тропической циркуляции в районе Антильских и Багамских островов, оказалось, что между Антильским и Северо-Пассатным течением есть мощное противотечение — Антило-Гвианское. Оно направляется к юго-востоку и опускается от поверхности до глубин 600—800 м. Этот поток несет массу воды, примерно равную по объему половине Гольфстрима; протяженность его — более 3500 миль. В районе экватора это течение сливается с Южным пассатным течением и течением Ломоносова. Но где оно начинается? Какие воды его питают? Ведь каждому ясно, что даже маленький ручеек обязательно должен иметь источник питания. А морское течение несет свои воды в той же воде и в воде зарождается. Задачей экспедиции 1972 г. было найти район зарождения Антило-Гвианского противотечения.

В западной части тропической зоны Атлантического океана сходятся три мощных течения — Флоридское, Антильское и Северо-Пассатное. В месте их «встреч» образуется система квазистационарных вихрей. Эти вихри, напоминающие водовороты в реках, имеют, однако, десятки километров в диаметре. Как и в реке, вихри в океане возникают над котловинами или возвышенностями. Несколько таких вихрей, динамически взаимодействуя, создают поступательное движение воды. Эту сложную систему движения вод к юго-западу от Саргассова моря выявили и объяснили участники экспедиции. Согласно гипотезе профессора В. Г. Корта, тот же механизм течений, по-видимому, характерен для многих районов Мирового океана. И это очень важно знать, поскольку мы исследуем не только систему водообмена и переноса тепла в океане, но также систему «океан — атмосфера». Сведения о течениях необходимы для разработки методов прогноза океанографических условий в рыбопромысловых районах и вообще для разработки прогнозов погоды и климата.

Тринадцатый рейс «Академика Курчатова» снова проходил в тропической Атлантике. Но задачи его были иными. Под руководством заместителя директора Института океанологии по Атлантическому отделению К. В. Морошкина наше судно вместе с четырьмя кораблями Гидрометеослужбы СССР провело своеобразную репетицию запланированного на 1974 г. Международного комплексного исследования по программе ПИГАП (Планетарные исследования глобальных атмосферных процессов). Про-

грамма включает исследования верхнего слоя моря и тропических метеорологических условий не только с кораблей и буйковых станций, но и с искусственных спутников Земли.

Известно, что со спутников можно фотографировать облака и волны, измерять температуру моря и оценивать высоту волн. Главное — научиться читать «телеграммы» со спутника. А для этого нужно провести серию синхронных исследований со спутников и кораблей. Сравнивая данные тех и других, мы получим «ключ» к спутниковым шифрам. Такая тренировка и была задачей этой экспедиции.

12 Выяснилось, что спутники позволяют производить исследования океана, недоступные кораблям. Например, ветровые волны практически невозможно измерять с судов, потому что они и сами раскачиваются относительно поверхности океана. Формируется чрезвычайно сложное поле разнонаправленных сил. Попробовали использовать маленький акустический локатор, который с корабля посылал импульс к волне. И одновременно измеряли качку судна. Оказалось, удачно. Но как сопоставить это с данными спутника?

Со спутника можно измерять температуру моря. Но возникают новые трудности: морская пена создает такие световые помехи, что на фотографии она выглядит как раскаленный очаг. До сих пор никто не измерял количество морской пены с судна, вроде не было необходимости. Однако теперь пришлось разработать даже специальные нормативы в баллах.

Используя спектральные методы измерения, можно оценить концентрацию фитопланктона по количеству хлорофилла в его массе. Участники рейса «Академика Курчатова» разработали и новую методику определения концентрации фитопланктона с судна — по измерению количества хлорофилла с помощью спектроскопа. А чтобы убедиться в точности расчетов, отлавливали фитопланктон сетками. И каждый раз расчеты подтверждались. Теперь необходимо накопить побольше статистических данных, чтобы без сетей, «на глаз» оценивать концентрацию этих мельчайших растительных организмов в морской воде. До тринадцатого рейса «Академика Курчатова» с очень небольшой долей правдоподобия можно было лишь предположить, что, если море позеленело, значит, здесь скопились микроскопические водоросли. В действительности море способно принимать богатейшую гамму оттенков — от сине-черного до зеленого.

Одиннадцатый рейс «Академика Курчатова» возглавлял доктор биологических наук Н. В. Парин. Этот рейс справедливо было бы назвать героическим. Он проходил в антарктических водах, в районе глубоководного желоба Сандвичевой впадины. Здесь всегда штормит, а сильная качка не дает возможности работать с приборами, опущенными за борт. Но участникам экспедиции благодаря усилиям великолепной судовой команды удалось собрать богатейшую фауну с глубины более 8 тыс. м. Как правило, это иглокожие, типичные для глубоководных желобов. Но их количество и разнообразие поистине впечатляют. Ведь работы проходили в холодной Антарктике. Однако холод не помеха для развития жизни: донные антаркти- ческие воды во много раз богаче тропических. В тропиках перемешивание донных и поверхностных вод, как правило, задерживается большим перепадом температур. Питательные органические вещества там скапливаются у дна, где нет света. А хорошо освещенные поверхностные воды бедны органикой.

Район Сандвичевой впадины в выгодном положении, поскольку свободные от льда поверхностные воды хорошо освещены, а циркуляция вод со дна на поверхность обогащает толщу океана питательными компонентами. Планктонным населением Антарктика также оказалась богаче, чем тропики. И, пожалуй, правильнее сопоставить Антарктику не с арктическими, а с умеренными широтами, где также четко выражены сезонные изменения.

Любопытно, что участники других экспедиций, в том числе и американских, проводя исследования планктона, нередко приходили к выводу, что его концентрация здесь не так уж велика. Эти экспедиции работали летом, а «Курчатов» — ранней весной, когда молодые планктонные организмы населяют самые верхние слои океана. Советские биологи пришли к выводу, что постепенно старшие поколения планктона опускаются в толщу вод и потому с трудом обнаруживаются с корабля.

Немало новых видов животных и рыб привезли наши экспедиции. Среди известных, но редкостных экземпляров оказался и целакант. Эта рыба-страшилище «умудрилась» не вымереть в течение многих миллионов лет. Но ареал ее обитания ограничен двумя островами в Индийском океане. Острова (Коморские) находятся под контролем Франции, поэтому целакант был куплен у французов.

В середине лета «Дмитрий Менделеев» вернулся из восьмого рейса, на этот раз к восточно-тихоокеанским бере-

гам Южной Америки. Этой геологической экспедицией руководил доктор геолого-минералогических наук А. П. Лисицын. Предметом исследований были осадочные породы. Удалось обнаружить значительные и на больших площадях скопления тяжелых металлов и железа. По ряду признаков они напоминают гидротермальные месторождения, характерные для рифтовых зон, где к поверхности земной коры поднимается материал верхней мантии. Но как правило, подобные месторождения образуются в виде жил и не бывают слишком обширными. Явление, подобное тихоокеанскому, известно в Красном море, ложе которого вообще не соответствует обычным представлениям о морском дне.

Океан — вторая Вселенная

Увидев океан, к нему нельзя остаться равнодушным, его 15
нельзя позабыть. Так случилось и со мной. В 1914 г., когда мне было 25 лет, профессор Московского университета И. Месяцев взял меня на летнюю практику в Мурманск. С тех пор судьба моя неразрывно связана с морем, и лучше всего я чувствую себя на корабле. Моя основная профессия — зоология беспозвоночных и исследование живого населения морей и океанов. Мы начинали работу в тяжелое время. Вначале гражданская война, потом разруха. В нетопленных залах университета собирались голодные мечтатели — преподаватели и студенты биологического факультета. И вдруг в трудном двадцать первом году появляется ленинский декрет о планомерном изучении морей и океанов. Был создан Морской научный институт со своей плавучей базой — кораблем «Персеем». В декрете говорилось: «Поручить соответствующим учреждениям снабжение института углем, жидким топливом, обрудованием и продовольствием наравне с учреждениями первостепенной государственной важности».

Какой смелостью мысли надо было обладать, чтобы поддержать идею, сулящую плоды, быть может, через годы! Благодаря Ленину в нашей стране начала развиваться наука об океанах, появились первые исследовательские корабли.

Республика жила в то время бедно. И нам, океанологам, предоставили лишь остов судна. Предстояло достроить его, оснастить и вывести в море собственными силами. Главный строитель профессор И. Месяцев собрал группу энтузиастов; в ней оказались и такие известные теперь ученые, как В. Шулейкин, М. Кленова, Н. Зубов и др. На время мы стали заготовителями. Покупали в складчину оборудование, везли по улицам Архангельска тачки с грузом для корабля. Наверное, в спину нам ухмылялись нэпманы. Но мы жили будущим, видели себя на «Персее».

В 1923 г. «Персей» вышел в море. У этого судна славная судьба! Ученые совершили на нем 80 экспедиций, исследовали Баренцево, Карское, Гренландское моря, берега Новой Земли и Шпицбергена. Корабль участвовал в поисках дирижабля Нобиле. В войну он стал плавучим госпиталем и погиб под фашистскими бомбами в Мотовском заливе.

«Персей» — колыбель советской науки об океане. Исследование морей на нем проводилось комплексно: жизнь животных изучалась в тесной связи с окружающей средой. И то, что вскоре были открыты огромные промысловые богатства в Баренцевом море, не было случайностью. Наука лишь условно делится на теоретическую и практическую. Настоящая наука органически включает в себя теорию и практику и всегда в итоге приносит пользу людям.

Нет никаких сомнений в том, что будущее человечества, развитие его хозяйства и науки зависят от освоения морей и океанов. С появлением новейшей исследовательской техники «вторая Вселенная» стала доступнее. Люди ощутили острую потребность узнать, что происходит на трех четвертях земной поверхности, в толще океанских вод, на дне, в подокеанской земной коре. Они захотели прочитать великую летопись истории Земли и возникновения жизни, хранимую океаном. Они всерьез задумались над тем, как сделать достоянием человечества огромные пищевые, химические, энергетические и другие ресурсы океана.

Одно из основных богатств «второй Вселенной» — ее обитатели. Живое население Мирового океана составляет не менее 16—20 млрд. т. Уже на заре своей истории человек научился добывать моллюсков, ракообразных, ловить рыбу, собирать водоросли, но до сих пор ему достаются лишь ничтожные доли живых сокровищ. Мы, например, совсем не используем планктон, ценнейшее сырье для промышленности. Недостаточно используются водоросли. А рыбы ежегодно добывается всего около 50 млн. т — 0,2 % биологических запасов океана.

Морской промысел все еще напоминает охоту со всеми ее случайностями. Мы подчас не знаем путей, по которым идут косяки рыб; толком не известно, как размножаются киты. Упорядочить морское хозяйство, разводить рыб, как домашних животных,— эту задачу можно и нужно решить. И пока не под силу «пасти» рыб в океанах, нужно начинать эту работу в морях.

Такая возможность представилась нам в 30-х годах.

Рыбоводы давно замечали: в Каспии не хватает пищи для осетра и севрюги. Ценную породу рыб надо было спасать. Но каким образом? Где взять миллионы тонн корма?

Оказалось, что в Черном и Азовском морях осетровые питаются такими червями и моллюсками, которых нет в Каспийском море. Мы подумали тогда: может быть, стоит попытаться перенести эту кормовую базу из Черного и Азовского морей в Каспийское?

Этой работой занялся большой коллектив ученых. В течение двух лет мы работали на Севастопольской биологической станции, чтобы окончательно выяснить, какова кормовая база у осетровых рыб на Черном море. Для дальнейших опытов отобрали червя нереиса и моллюска синдесмию. Но смогут ли они жить и развиваться в каспийской воде? Привезли воду из Каспия, проверили — да, смогут.

В 1939—1940 гг. мы доставили сравнительно небольшие количества нереиса и синдесмии на Каспий в надежде, что им понравятся новые условия. Но вскоре началась Великая Отечественная война — где тут было проверять результаты нашего эксперимента! Вспомнили о нем только после войны. И тут обнаружилось, что беспозвоночные в новых условиях не только прижились, но и широко распространились по всему бассейну Каспийского моря. Осетровые рыбы получили огромные пищевые ресурсы, и проблема питания их разрешена полностью. Около половины всего, что съедают осетровые Каспия,— потомки «биопереселенцев». В некоторых районах моря они составляют до 90 % пищевого рациона рыб. Таким оказался результат активного воздействия человека на реконструкцию фауны морских водоемов.

Успех не вскружил нам голову. Каспий — все же озеро, хоть и крупнейшее в мире. А мы мечтаем об освоении океанов, в водах которых будут плавать не дикие косяки, а прирученные «стада» рыб.

Сейчас в Советском Союзе некоторые ценные породы рыб переселяются в новые для них места. Это делается для того, чтобы увеличить количество промысловых мест, подобрать для рыбы наиболее удобные пастбища. Такое переселение будет проводиться и впредь, здесь у нас имеются неисчерпаемые возможности.

Особое место среди живых сокровищ океана занимает планктон. Это мельчайшие растительные и животные организмы, живущие в толще воды. Все обитатели океана, от самых маленьких до китов и акул, питаются планктоном.

Спортсмены-путешественники, переплывающие океан на небольших суденышках, также употребляли его в пищу. Планктон богат жирами, белками, витаминами.

Еще неясно, как добывать его из больших объемов воды, но уже в ближайшем будущем выйдут в море планктоноловные флотилии. Эти плавучие фабрики будут перерабатывать ценнейшее сырье в различные продукты.

На земле человек вносит на поля удобрения, и урожайность повышается. А можно ли повысить урожайность планктона? Природа сыграла с морскими растениями злую шутку — заперла от них удобрения на недоступной для них глубине. Случается, что эти слои воды поднимаются на поверхность океана, и тогда там бурно вспыхивает жизнь... Пока люди не удобряют «морские луга», но в принципе это возможно. Скоро человек научится регулировать морской «урожай», повышать его и, может быть, заранее предсказывать, каким он будет.

Океан займет достойное место в балансе пищевых ресурсов.

В последние годы я изучаю фауну глубоководных впадин дальневосточных морей и Тихого океана.

Кажется, какой интерес может представлять жизнь на большой глубине? Ведь подавляющая масса животных и растений находится в верхних слоях воды (несколько сот метров). Еще в 1948 г. шведский океанолог Ганс Петерсон высказал предположение: на глубинах больше 6,5 км жизнь вообще невозможна. При этом он ссылался на французского физиолога Фонтена, который установил, что даже бактерии гибнут в барокамере при давлении, соответствующем таким глубинам.

Исследования, проводимые коллективом научных работников на экспедиционном корабле «Витязь», опровергли это утверждение. Океанологи «Витязя» добыли в Курило-Камчатской впадине рыбу с глубины 7579 м. Обнаружены новые существа и на дне глубочайшей Марианской впадины — на глубине в 11 км.

Глубоководные рыбы поражают своей причудливой формой. Эти мрачные черные хищники состоят словно из одной пасти — огромной, зубастой. Они светятся в темноте и часто именно этим привлекают к себе жертву. Наибольших глубин достигают шестилучевые кораллы, кольчатые черви, моллюски, иглокожие.

Эти животные представляют не только зоологический интерес. Они дают возможность ответить на целый ряд вопросов, связанных с историей самого океана, его конту-

ров, его рельефа, а также с историей морской фауны и животного мира вообще.

К сожалению, пока нет возможности экспериментировать с глубоководными животными: они погибают при переносе их на палубу корабля. Однако результаты работ нашего «Витязя» и датского судна «Галатея» пролили много света на это темное царство.

Да, жизнь в океане вездесуща и взаимосвязана. В верхних слоях под воздействием солнца свершается таинство фотосинтеза: водоросли строят клетки живого вещества. Здесь начинается уходящая вглубь «пищевая лестница». Растения поедаются животными, те в свою очередь идут в пищу хищникам.

С глубиной жизнь беднеет. Обитатели глубин — неудачники на богатейшем пиршестве. Им перепадают лишь крохи из верхних слоев, да и те перехватывают жадные рты. Поэтому некоторые глубинные рыбы под покровом ночи поднимаются вверх, чтобы к утру возвратиться. Какова их роль в биосфере океана? Ведь там, на глубине, замыкается круговая цепь жизни. Этого мы не знаем, как не знакомы еще и со всеми обитателями глубинных вод.

Океан — заповедник, который не перестает поражать находками. Что бы вы сказали, если бы на Земле была обнаружена новая раса людей? Невероятно, правда? В океане многое возможно.

Советский ученый, профессор Ленинградского университета Артемий Иванов, который не раз ходил в экспедицию на «Витязе», исследовал совершенно новую группу животных — погонофоров. Эти необычные организмы живут в плотных кожистых трубках и похожи на длинных червей. Погонофоры — наши дальние родственники, они очень близки к типу хордовых, а следовательно, и к позвоночным. Вот уже 15 лет зоологи всего мира с интересом наблюдают за исследованиями Иванова, ведь ему удалось восстановить целое звено в эволюции животного мира.

На земле ученые по скудным останкам представляют себе облик вымерших животных. Живые питекантропы и динозавры разгуливают лишь по страницам фантастических романов. В океане же можно встретить самых дальних предков вымерших животных.

Находка целаканта, к примеру, напоминает приключенческую повесть. Рыбаки у побережья Юго-Восточной Африки не раз вылавливали кистеперую рыбу. Они и не догадывались, что в их сетях прабабушка чуть ли не всех земных животных. Но рыбой заинтересовалась заведую-

щая музеем мисс Латимер. Когда сделанный ею рисунок был получен в Лондоне профессором Смитом, тот не поверил своим глазам: рыба, которая, как известно, вымерла в палеозойской эре, еще жива!

За поимку целаканта была объявлена награда. Уже поймано около 20 рыб в районе Коморских островов — между Южной Африкой и Мадагаскаром.

Эти находки стали выдающимся событием в биологии века. Нужно искать. Сколько догадок, умозаключений будет подтверждено, если вместо окаменелостей мы встретим живых представителей древности!

20 Океан не только великая летопись истории Земли, не только богатейший заповедник. Это еще и необъятная кладовая, содержащая колоссальные запасы минерального сырья. Стремление проникнуть под поверхность морского дна — одно из самых дерзких мечтаний человека. Уже сегодня нефтяные вышки уходят на сотню километров от берега и у нас на Каспийском море, и в Мексиканском заливе в США. На дне морей и океанов хранятся десятки миллионов тонн марганца, железа, меди, никеля, редких и радиоактивных элементов.

А морскую воду можно назвать своего рода жидкой рудой: ведь в ней заключена едва ли не вся Периодическая система элементов Менделеева. В воде содержится около 6,5 млрд. т натрия, 80 млн. т никеля, 800 млн. т молибдена... Даже золото растворено в океане примерно 10 млрд. т — по 3,3 т на каждого жителя планеты. Если же распределить по поверхности Земли всю соль, растворенную в морях, получится слой толщиной 153 м!

Давным-давно человек научился выпаривать из воды соль. Но как найти способы концентрации различных редких элементов, рассеянных в морской воде? Сама природа подсказывает нам ответ на этот вопрос.

В Мировом океане обитают животные и растения, обладающие удивительной способностью концентрировать в своем организме определенные химические вещества. Микробиологи, например, считают, что железомарганцевые конкреции, устилающие дно морей и океанов,— результат работы бактерий. Даже химическим анализом трудно обнаружить в морской воде йод, а водоросли и некоторые животные свободно улавливают его и задерживают в себе, словно живые ловушки. Например, ламинария содержит в своем теле йода в сотни раз больше, чем окружающая вода.

Пока можно только мечтать о том, чтобы выпытать у бак-

терий, рыб и водорослей секреты их биохимической деятельности и построить по тем же принципам искусственные реакторы. Но нет сомнений, что в ближайшем будущем такие реакторы начнут работать.

Возможно, во многом помогут получить морские богатства растворенные в воде смолы — иониты. Советский ученый А. Даванков уже проделал такой эксперимент — ему удалось получить золото, маленькую крупинку, едва превышающую по величине маковое зернышко. Но для ученого, как он вспоминал потом, она была дороже самого большого самородка, найденного старателем на земле.

Когда человек научится добывать металлы из морской воды, оскудение минеральных ресурсов Земли уже не испугает его. Однако мы еще в самом начале пути. Отдавая нам какую-либо из свой тайн, океан тут же загадывает новую загадку...

Исследование океана даже при наличии идеальной аппаратуры будет ограниченным до тех пор, пока люди не получат возможность свободно путешествовать под водой на любой глубине. И вполне вероятно, что в будущем на дне океана начнут работать рудничные заводы и человек будет существовать там какое-то время, разрабатывая полезные ископаемые. Знаменитый исследователь Жак-Ив Кусто считает, что вскоре в океане появятся целые города...

Конечно, это мечта, но ведь и Циолковский лишь мечтал о космических полетах, а 30 лет назад энергия атомного ядра казалась нам недосягаемой. Будущее оправдает одни гипотезы, отметет другие. Ясно одно: следующее столетие будет веком космоса и океана, которые беспредельно расширят возможности человека.

Под звездным флагом „Персея“

Для первой экспедиции Плавучего морского научного института (Плавморнин), созданного по декрету В. И. Ленина, был временно предоставлен корабль ледокольного типа «Соловей Будимирович», переименованный позже в «Малыгин». Кораблю был определен район исследований — Новая Земля и моря, ее омывающие.

И вот 11 августа 1921 г. от Соборной пристани в Архангельске «Малыгин» отправился в первую научную экспедицию Плавморнина. Программа и план экспедиции были разработаны специальным комитетом, в который входили крупные представители различных областей науки. В их числе были А. И. Россолимо, С. А. Зернов, Л. А. Зенкевич, И. И. Месяцев и др. Наряду с научными исследованиями корабль должен был участвовать в проводке через Карское море большого каравана судов Карской хлебной экспедиции. Однако это первое плавание «Малыгина» показало полную несовместимость выполнения научных и оперативно-хозяйственных задач: одно мешало другому. Да и для проведения исследовательской работы корабль был мало приспособлен. Поэтому и результаты первой полярной экспедиции Плавморнина оказались недостаточно полными.

Начальник экспедиции на «Малыгине» Иван Илларионович Месяцев еще во время стоянки корабля в Архангельске и подготовки его к плаванию случайно узнал, что в одном из рукавов дельты Северной Двины — на речке Лае, где находился старейший док (Лайский док), стоит беспризорное недостроенное судно. Выяснилось, что судно принадлежало ранее известному сибирскому предпринимателю и промышленнику Могучему. Он начал в 1916 г. строить на Онеге большое деревянное зверобойное судно, которому дал имя «Персей». Затем недостроенный корпус отбуксировали в Архангельск и поставили на прикол в речке Лае.

По возвращении из экспедиции на «Малыгине» И. И. Месяцев начал хлопотать о передаче корпуса «Персея» Морскому научному институту. 10 января 1922 г. Совет Труда и Обороны издал по этому поводу соответствующее постановление. С этого момента все силы Морского института были обращены на достройку и оборудование «Персея».

Шел 1922 год. Прошло менее двух лет, как Архангельская губерния была освобождена от интервентов Антанты. Промышленность края только начинала оживать. Архангельский судоремонтный завод находился в таком состоянии, что не мог обеспечить деятельность даже существующего флота. Никаких механизмов и материалов в запасе не было, и пароходы один за другим выходили из строя. Их отводили в протоку между Северной Двиной и рекой Кузнечихой, в так называемую Собачью дыру. Постепенно Собачья дыра превратилась в кладбище кораблей — грузовых, пассажирских.

И вот в это трудное время, когда всего не хватало, надо было заполнить пустой корпус «Персея» двигателем, котлами, километрами трубопроводов и электропроводов, динамо-машинами, помпами, вентиляторами, на палубе установить рулевую машину, брашпиль, лебедки, компасы, огни, достать еще множество всякой всячины, необходимой любому кораблю.

На это дело И. И. Месяцев вдохновил небольшую группу близкой ему энергичной молодежи. В группу посчастливилось попасть и автору этих строк.

На нашем пути возникали, казалось, непреодолимые трудности. Архангельский судоремонтный завод отказался производить работы на «Персее», но все же предоставил кораблю место для стоянки у своего причала, а нам — право пользоваться мастерскими. Инженеров, механиков и мастеров мы должны были подыскивать сами.

Но где достать необходимые машины и механизмы? Выход был один — добывать старые и ремонтировать. Начались поиски. Почти новую и по тем временам совершенную машину нам разрешили снять с буксира «Могучий». Но... он лежал на дне Северной Двины. Буксир подняли, машину сняли, разобрали и доставили в мастерскую судоремонтного завода. Использовали котел, некоторые вспомогательные механизмы и листы обшивки корпуса.

В механическом цехе судоремонтного завода поставили деревянный фундамент под машину, на него положили раму, на которую собирали начищенные до блеска детали машины. Она постепенно росла ввысь.

Стальные листы обшивки буксира «Могучего» отвезли на берег речки Соломбалки. Там в небольшом сарайчике устроили мастерскую, где из них вручную резали толстые листы обшивки, гнули по лекалам, кувалдами клепали водяные цистерны для «Персея». К концу лета готовые цистерны столкнули в Соломбалку и отбуксировали к «Персею».

Все лето в Лайском доке производились плотничные и столярные работы по корпусу. На палубе поставили кормовую рубку с капитанским мостиком, в носовой части — лабораторию, внутри корпуса — жилые помещения.

С кораблей, находившихся в Собачьей дыре, мы постепенно раздобыли все необходимое для «Персея».

«Так по винтикам нами собран был Институт изученья морей»,— говорилось в одной из популярных на «Персее» песенок.

В конце лета 1922 г. проходило испытание главной машины на стенде. Сверкая сталью и медью, стояла она на фундаменте на судоремонтном заводе. От заводской магистрали к ней подвели пар. К управлению пусковым клапаном стал механик, медленно приоткрыл клапан — машина начала разогреваться. Механик приоткрыл клапан побольше — и машина, пролежавшая на дне Северной Двины шесть лет, вдруг ожила: зашипел пар, качнулись мотыли, сначала медленно, потом все быстрее закрутился гребной вал. На другой же день машину начали разбирать и подготовлять к установке на корабле.

К началу зимы 1922/23 г. главный двигатель был установлен — машинное отделение наполнилось множеством вспомогательных механизмов. В каютах и лабораториях разогрелись радиаторы парового отопления — судно приобрело жилой вид.

Что представлял собой этот первый корабль советского научно-исследовательского флота? Это была парусно-паровая двухмачтовая гафельная шхуна длиной по палубе 41,5 м, общим водоизмещением 550 т. Корпус деревянный со сплошным набором шпангоутов, очень прочный. Изнутри он имел ледовые подкрепления. Жилых мест для экипажа — 24, для экспедиционного состава —16. В палубных надстройках размещались шесть лабораторий. Мощность главной паровой машины 360 л. с.: при хорошем угле корабль мог развивать скорость до 7,5 узла.

Научное оборудование и приборы были изготовлены кустарным способом. Так, рамы для драг и тралов Сигсби заказали в соломбальской кузнице, планктонные сетки из мельничного газа сшила портниха. По рисункам бато-

метров в немецком издании книги Фритьофа Нансена разработали рабочие чертежи и заказали изготовление батометров кустарю в мастерской «чинить-паять».

Итак, «Персей» был готов к плаванию. В один из зимних вечеров 1922 г., когда вьюга завывала в печной трубе, у молодых сотрудников Плавморнина возникла мысль о том, что мы должны иметь свой флаг. Много было споров по этому поводу, много предложений. Наконец, художник В. М. Голицын изготовил макет вымпела: на ярко-синем поле семь белых звезд созвездия Персея, вдоль внутренней

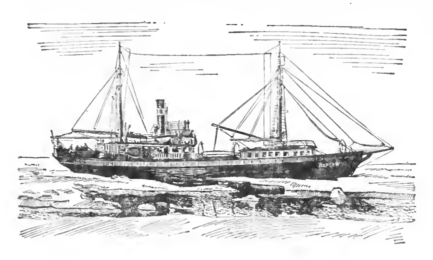


Рис. 1 Первое советское научно-исследовательское судно «Персей»

шкаторины — белая полоса и на ней синие буквы МНИ (Морской научный институт).

Наконец настал незабываемый день 1 февраля 1923 г., когда на кормовом флагштоке уже развевался государственный флаг, а на гафель медленно пошел большой синий вымпел с семью белыми звездами созвездия Персея — флаг экспедиций Морского научного института. Сильным баритоном торжественно зазвучал гудок корабля и эхом раскатился над скованной льдом Двиной и Архангельском.

Как только Двина очистилась весной от льда, «Персей» вышел в пробный рейс по Белому морю. Все механизмы

работали исправно, корабль показал хорошие мореходные качества.

19 августа 1923 г. под прощальные гудки стоявших в Архангельском порту пароходов «Персей» вышел в свою первую экспедицию. Ему предстояло выполнить гидрологический разрез по 41-му меридиану, от мурманского берега до полярных льдов на севере, подойти к мысу Флора на Земле Франца-Иосифа, оттуда проделать разрез на северную оконечность Новой Земли и спуститься к югу вдоль новоземельского мелководья. Но высадиться на Землю Франца-Иосифа не удалось. Когда мы вошли во льды, окружавшие ее берега, обнаружилось, что угля осталось на три дня. Пришлось выбираться изо льдов и под парусами возвращаться вдоль Новой Земли на юг. Сменившийся ветер заставил экспедицию зайти в губу Белушью, где в ожидании топлива «Персей» простоял почти полтора месяца.

Это плавание явилось серьезным испытанием для нового корабля, его оборудования, приборов, а также для научных сотрудников, которые в суровых условиях вырабатывали навыки морских исследований.

Экспедиция на «Персее» в 1923 г.— это самые первые шаги советского мореведения. Для того времени сведения о температуре, солености, химическом составе воды, биологии и грунтах обследованной акватории полярных морей были очень ценны. При этом важен был не только добытый материал, но и комплексный подход к его сбору. Эта комплексность, легшая в основу всех дальнейших исследований морей, позволила установить зависимость между рельефом дна, распространением теплых атлантических вод, грунтами, животным миром, распределением стай промысловых рыб и т. п.

За 19 лет (с августа 1923 по 25 июля 1941 г., когда судно затонуло в Эйна-губе на Мурмане от близких разрывов немецких авиабомб) на «Персее» было проведено 99 экспедиций, пройдено более 100 тыс. морских миль (что равно почти пятикратному обходу вокруг Земли по экватору). Десять раз корабль побывал в водах Шпицбергена, 5 раз — у Земли Франца-Иосифа, 12 раз ходил он к Новой Земле, обогнув ее и с запада на восток и с востока на запад. Плавал в Северной Атлантике, в районе Ян-Майена, в Гренландском море, впервые проделав гидрологический разрез от Шпицбергена к Гренландии. Дважды на «Персее» осуществлялись гидрологические исследования в Карском море, до того почти не изученном. Большой объем работ был выполнен по программе второго Международного

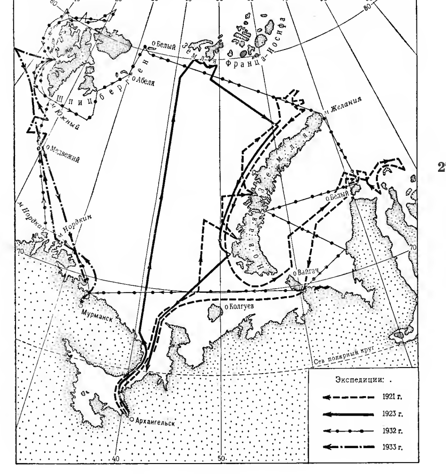


Рис. 2. Маршруты экспедиций на «Персее»

полярного года в 1932—1933 гг. В экспедициях на «Персее» собран огромный материал по северным морям. Эти данные позволили, например, судить об изменчивости теплового режима Нордкапского течения, установить его связь с общей циркуляцией атмосферы и водных масс Баренцева моря, разработать методику ледовых прогно-

зов. Во всех экспедициях систематически производился промер морских глубин и сбор образцов грунта, в результате чего были составлены подробные карты рельефа дна и грунтов Баренцева моря.

С 1930 г. сотрудники «Персея» вплотную занялись научно-промысловыми исследованиями. Была установлена взаимосвязь распределения тресковых стай в зависимости от теплового режима струй Нордкапского течения и рельефа дна. Это дало возможность разработать научно обоснованную методику промысловой разведки новых промысловых районов, очень богатых рыбой.

С первых же плаваний на «Персее» создавалась методика морских исследований, научная документация вплоть до форм экспедиционных журналов.

На палубу «Персея» впервые ступили, приняли морское крещение и прошли первую практику многие тогда совсем молодые научные работники, ставшие впоследствии крупными учеными, основоположниками новых разделов науки о море, руководителями новых морских исследовательских институтов, изучающих Мировой океан: В. В. Шулейкин, Л. А. Зенкевич, В. Г. Богоров, Н. Н. Зубов, М. В. Кленова, А. А. Шорыгин. А вслед за ними школу Плавморнина прошли многие другие советские исследователи северных морей.

В первые годы плавания «Персея» известный географ С. В. Обручев написал гимн, который распевали многие поколения персейцев. Словами этого гимна мы и закончим наш рассказ о первом плавании «Персея»:

На звездном поле воин юный
С Медузой страшною в руках*,
С ним вместе нас ведет фортуна,
И чужд опасности нам страх.

Сквозь зыбь волны открыт «Персею»
Весь тайный мир морского дна,
Вперед, «Персей», на норд смелее —
Земля там Гарриса** видна.

В тумане слышен вой сирены,
И плещут волны через борт,
Слепит глаза седая пена,
А все ж у нас на румбе норд!

Пусть шторм нас девять дней швыряет
И в клочья рвет нам кливера,
Мы путь на север направляем —
Тверда штурвального рука.

---

* В соответствии с древнегреческой легендой Персей победил страшное морское чудовище Горгону Медузу.

** Земля Гарриса — острова, существование которых не подтвердилось.

Со всех сторон стеснились льдины,
Грозят «Персея» раздавить...
Дрожит весь корпус — миг единый,
Еще удар, и путь открыт.

Нам с кромки льда тюлень ленивый
Кивает круглой головой...
Скорее, штурман, мимо, мимо,
На север путь мы держим свой.

И вымпел гордый пусть «Персея» —
Рой звезд и неба синева —
Над всем полярным морем реет
Сегодня, завтра и всегда...

Четверть века на научной вахте

«Витязь» вышел в первый экспериментальный рейс весной 1949 г. Последующие почти 20 лет он носил почетное звание флагмана советского экспедиционного флота. В 1967 г. «Витязь» уступил это звание новому кораблю науки — «Академику Курчатову». С «Витязем» неразрывно связано становление и развитие Института океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР. В экспедициях «Витязя» принимали участие научные работники 65 институтов и университетов нашей страны, а также ученые 14 зарубежных стран. Трудно назвать кого-либо из ведущих советских океанологов, кто не работал бы на борту «Витязя».

Начальником первой экспедиции был академик Л. А. Зенкевич, позже он руководил еще тремя экспедициями; неоднократно возглавляли экспедиции на «Витязе» член-корреспондент АН СССР В. Г. Богоров, член-корреспондент АН СССР П. Л. Безруков, А. Д. Добровольский, Г. П. Пономаренко, Н. Н. Сысоев, В. П. Петелин, В. Г. Корт, Г. Б. Удинцев, М. Е. Виноградов и другие известные ученые. Сотни молодых специалистов начали свой путь в науку с борта «Витязя» и недаром считают его своим университетом: именно здесь возникла отечественная школа океанологов.

Новое судно назвали в память о славном корабле науки прошлого века, на котором плавал адмирал С. О. Макаров. Главная инициатива в создании «Витязя» принадлежала директору Института океанологии и министру морского флота академику П. П. Ширшову, члену-корреспонденту АН СССР В. Г. Богорову и капитану дальнего плавания С. И. Ушакову. Благодаря творческому сотрудничеству ученых, моряков и судостроителей был создан плавучий институт с 16 лабораториями на 60—65 сотрудников. В каждом рейсе 70—75 человек экипажа обеспечивали научные работы и безопасность мореплавания.

После экспериментального рейса в Черное море «Витязь» совершил в 1949 г. переход на Дальний Восток и был приписан к Владивостоку. В первые годы с борта «Витязя» проводились исследования Охотского, Японского, Берингова морей, а также прикурильского района Тихого океана. Лишь с 1954 г. он вышел на просторы Тихого и Индийского океанов. В декабре 1973 г. «Витязь» отправился в свой очередной, 58-й рейс. Путь, пройденный им по морям и океанам за все годы, составляет 650 тыс. миль.

От комплексных экспедиций до тематических рейсов 31

С самого начала на «Витязе» проводились комплексные научные исследования. Программы его экспедиций до начала 60-х годов (а их было более 30) предусматривали решение самых различных научных задач. В последнее десятилетие экспедиции стали носить тематический характер с выделением ведущих научных дисциплин в комплексной программе. Описательный характер первого периода был вполне закономерным, так как требовалось сначала изучить природу морей и океанов, а затем перейти к исследованию процессов.

В результате первых экспедиций «Витязя» коренным образом изменились представления о географии, геоморфологии и живых обитателях наших дельневосточных морей. Затем были внесены изменения в целый ряд наших прежних представлений и о Тихом океане. Полученные в экспедициях данные стали принципиально новой основой для изучения важных процессов, совершающихся в толще вод океана и на его дне. Постепенно программы экспедиций на «Витязе» приобрели тематическую направленность. Так, например, несколько рейсов — 45-й (1969), 50-й (1971), 52-й (1972) — посвящались биологическим исследованиям северо-западной и западной частей Тихого океана, а также Охотского моря. Физические процессы в западной, экваториальной части Тихого океана изучались в 51-м и 57-м рейсах (1972 и 1975). Были проведены также рейсы по геологической и геолого-геофизической программам.

Геологические рейсы

В последние годы несколько геологических рейсов осуществлялось под руководством ведущего советского морского геолога, члена-корреспондента АН СССР П. Л. Безрукова. Так, в 43-м рейсе (1968) развернулись работы в разных тектонических и климатических зонах Тихого океана. В районе срединно-океанских гор удалось обнаружить скопления древних (третичных) фосфоритов нового генетического типа с высоким содержанием фосфора. Скопления эти залегают на глубинах 1200—3500 м (а местами и глубже) в виде плит, глыб, валунов и мелких обломков, обычно покрытых железомарганцевой коркой. Биологи изучали состав фауны на поверхности конкреций. Впервые при драгировке склона одной подводной горы был поднят на борт моллюск *Neopilina*. Это древнейший глубоководный обитатель, принадлежащий к классу, который считали вымершим.

Геологические исследования были продолжены в 48-м рейсе (1970). Этот рейс полностью был подчинен поиску и изучению железомарганцевых конкреций в центральной части Тихого океана. Исследовали три крупнейшие рудоносные области — Южную и Центральную котловины, а также систему срединно-океанских гор. Анализ собранных материалов показал, что залежи конкреций обильны там, где рельеф дна сильно расчленен холмами и горными грядами и скорости осаждения осадков малы. В таких районах на каждый квадратный метр поверхности дна приходится до 50—75 кг конкреций. Получен достаточный статистический материал для изучения морфологии и внутреннего строения конкреций и состава их ядер. Обнаружены совершенно новые разновидности конкреций и обильные их залежи. Оказалось, что на некоторых горах мощность слоистых рудных корок достигает 10—15 см — примерно 200—300 кг руды на 1 кв. м поверхности. Большую ценность представили сведения о распространении в центральных частях Тихого океана древних фосфоритов, которые по своим признакам и по условиям образования не имеют ничего общего с фосфоритами, содержащимися в конкрециях.

В проведенном под руководством П. Л. Безрукова 54-м рейсе (1973) было продолжено геологическое изучение дна Тихого и Индийского океанов. Кроме западной части Тихого океана исследованиями были охвачены моря Малайского архипелага и восточная часть Индийского океана до Восточно-Индийского хребта.

Восточная часть Индийского океана — интереснейшая в геологическом отношении область. Здесь проходит Восточно-Индийский хребет и целая система структур, вытянутых вдоль меридиана; здесь расположены крупные подводные горы и поднятия. Привлекают геологов и моря Малайского архипелага, так как многие исследователи считают их ярким примером современных геосинклиналей.

На геологическом полигоне исследовалась гора Щербакова, открытая в 33-м рейсе «Витязя». Здесь, где минимальная глубина — 1433 м и относительная высота горы над окружающей поверхностью дна — 3 тыс. м, было решено провести детальные наблюдения. Какова геологическая история этого поднятия? Достигала ли когда-нибудь эта гора поверхности океана? Если достигала, то на ней должны залегать мелководные осадки, содержащие, в частности, фосфаты. Разнообразные геологические исследования подтвердили, что этот район пережил сложную геологическую историю, завершившуюся погружением горы.

Тщательно обследовали и район предгорий Восточно-Индийского хребта. Здесь морское дно очень сложное: расчленено на блоки, пронизано разломами. Геологи задались вопросом: какова взаимосвязь сложного рельефа и тектоники дна? Для работ выбрали большой полигон. Всего в рейсе было четыре геологических полигона в наиболее характерных районах океанического дна. Исследования геоморфологии обеспечили необходимую батиметрическую основу для геологических и геофизических выводов и предположений.

В этом рейсе обнаружены ранее неизвестные формы донного рельефа, в частности 22 подводные горы с относительной высотой от 0,5 до 3 км, много подводных гряд, крупных холмов, различных депрессий и уступов. Получено рекордное количество подводных снимков поверхности дна — 638.

Впервые проведено непрерывное сейсмическое профилирование в районах Яванского желоба, Восточно-Индийского хребта, в Западно-Австралийской и Северо-Австралийской котловинах. Удалось получить весьма обширные материалы для надежной корреляции сейсмических профилей с геологическими данными, а следовательно, и для обоснованного освещения вопросов тектонического развития океанов.

Заслуживают особого внимания многочисленные находки самых разнообразных мелких обломков пород,

поднятых на борт «Витязя». Микроскопическое их исследование показало богатый набор минералов магматических и метаморфических пород: здесь были и габбро, и андезиты, и амфиболиты, а также многие другие породы, присущие океанической коре геологического прошлого, например, Урала. Некоторые из пород найдены в Индийском океане впервые, и есть все основания полагать, что в районах сложного блокового строения океанского дна их достаточно много. Последующие кропотливые анализы сулят далеко идущие геофизические выводы и открытия.

Существенное место в рейсе заняли исследования минерального и химического состава железомарганцевых конкреций, а также пространственного их распределения. Иногда попадались чисто железистые конкреции.

Итоги 54-го рейса «Витязя», а также предыдущих его геологических рейсов позволили выполнить тектонический анализ и составить схему мезокайнозойской тектоники восточной части Индийского океана. Материалы, собранные в 54-м рейсе, помогают, кроме того, наметить тектоническое районирование всего Индийского океана.

Таковы вкратце научные результаты трех геологических рейсов «Витязя», проведенных под руководством П. Л. Безрукова. С программой этих работ тесно связаны исследования 49-го рейса (начальник экспедиции — доктор географических наук Г. Б. Удинцев, научный руководитель — академик А. В. Пейве). Экспедиция работала в районе Северо-Западной котловины зоны разлома Массау, Восточно-Каролинской котловины и в переходной области между океаном и материком. Применяя различные методы геофизических исследований, экспедиция собрала много новых важных материалов о структуре коры и мантии под океаном, их тектоническом режиме, о неоднородности литосферы и особенностях глубоководных океанических желобов.

Биологические исследования Тихого океана

Результаты уже первых экспедиций обогатили наши представления о живых обитателях дальневосточных морей, а затем и Тихого океана. Благодаря работам на «Витязе» установлены закономерности количественного и качественного изменений планктона на различных глубинах и в разных географических зонах. В результате была раз-

работана схема биологической структуры океана. Биологи пришли к выводу, что в верхних слоях океанических вод (от поверхности до 500 м) обитает около 65 % всей биомассы планктона. Много внимания уделялось изучению первичной продукции — совокупности органических веществ, создаваемых из минеральных в процессе фотосинтеза под влиянием солнечной энергии.

В итоге многолетних работ на «Витязе» были составлены карты первичной продукции и биомассы зоопланктона. На картах отмечены высокопродуктивные и малопродуктивные районы, а также дана оценка годовой продукции промысловых морских организмов.

Много неожиданностей принесли биологам исследования глубоководных желобов. Долгое время считалось, что глубины более 6 тыс. м безжизненны, но исследователи в экспедициях на «Витязе» обнаружили около 300 видов донных животных в этой зоне. Была открыта и описана новая для науки фауна больших глубин — погонофоры, которых оказалось более 100 видов.

Материалы изучения бентоса позволили составить карты количественного распределения и зоогеографического районирования океана по донной фауне. В результате ихтиологических исследований установлены экологические и географические закономерности распределения и развития ряда нерестических и океанических рыб, выявлены промысловые запасы и новые районы промысла нескольких видов рыб.

Сравнительно недавно (это относится прежде всего к 50-му рейсу) биологи начали изучать процессы в экологических системах. Таким специальным рейсом руководил доктор биологических наук М. Е. Виноградов. Исследования проводились в западной экваториальной части Тихого океана. Участники экспедиции изучали процессы фотосинтеза фитопланктона, т. е. создания первичной продукции. Одновременно измерялось распространение света в воде по всей толще, от поверхности до дна. Удалось оценить, сколько лучистой энергии проходит через данную экосистему, как она распределяется и используется различными группами организмов в процессе обмена веществ, каков ее общий энергетический баланс во времени на разных этапах развития сообществ. Собранные в этой экспедиции материалы существенно меняют представление о процессе снабжения сообществ биогенными веществами. Так, с помощью нового метода, в котором применялся радиоактивный изотоп P^{32}, установлено, что минеральный фосфор в водах поверхностного слоя океана на $^{9}/_{10}$ потребляется

микрофлорой, а не полностью фитопланктоном, как считалось ранее.

Анализ материалов, полученных в рейсах, привел к принципиально новым выводам о закономерностях существования пелагических сообществ. Что это за выводы? До сих пор, например, считали, что первичное органическое вещество поступает в сообщество благодаря только фотосинтезу. Оказалось по крайней мере три пути: во-первых, это фотосинтез, основанный на поступлении в сообщество минеральных форм биогенов; во-вторых, бактериальный синтез, в процессе которого используется растворенное органическое вещество; в-третьих, непосредственное усвоение некоторыми многоклеточными организмами растворенных неорганических веществ.

Если подвести итог

Наиболее существенный вклад в советскую и мировую науку экспедиции «Витязя» внесли в изучение двух научных проблем — оценки биологической продуктивности Мирового океана и его зоогеографического районирования, а также геолого-геофизического изучения дна, и особенно глубоководных желобов.

Благодаря экспедициям «Витязя» совершенно по-новому выглядит теперь карта рельефа дна Тихого океана, внесены большие поправки в батиметрическую карту Индийского океана. Открыты подводные горные страны, подводные хребты и отдельные горы, обширные долины и глубокие впадины.

С борта «Витязя» была открыта, а затем подробно исследована подводная возвышенность Шатского. Это крупное сводовое поднятие в центральной части Северо-Западной котловины. Протяженность этой возвышенности, ограниченной изобатой 5500 м,— около 900 миль, а ширина примерно 300 миль. Это образование интересно не только как морфологическая структура, интересен ее возраст и возраст коры, ее слагающей. Над возвышенностью наблюдаются значительные аномалии силы тяжести — до +200 мгал.

Особенно прославился «Витязь» изучением глубоководных океанических желобов. Список форм подводного рельефа, открытых и обследованных с борта «Витязя», велик. К ним относятся шесть желобов в Тихом океане и столько же в Индийском, впадины Дерюгина и Тинро в Тихом океане; подводные хребты «Витязя», Шир-

шова, Богорова, Шокальского и др.; возвышенности Обручева, Шатского, Академии наук, Института океанологии в Тихом океане; хребты Восточно-Индийский, Ланка в Индийском океане, а также много других географических объектов. Более сорока крупных подводных гор были открыты и нанесены на карту участниками рейсов «Витязя».

В девяти глубоководных желобах Тихого океана и в четырех желобах Индийского с борта «Витязя» измерены неизвестные ранее максимальные глубины, причем «Витязю» принадлежит честь открытия максимальной глубины Мирового океана — 11 022 м в Марианском желобе. На месте впадины Тускарора на карту был нанесен новый географический объект — Курило-Камчатский желоб, простирающийся на 2 тыс. км от Алеутских до Японских островов, с максимальной глубиной 10 542 м.

Много интересных геофизических исследований выполнено с борта «Витязя». Открыты океанический тип земной коры во впадине Японского моря, пояса повышенных мощностей донных осадков в экваториальной зоне Тихого океана, в Аравийском море и Бенгальском заливе; проведено изучение рифтовых зон как областей формирования земной коры нового типа. Благодаря экспедициям на «Витязе» теперь можно судить о тектонике дна морей Дальнего Востока, Тихого и Индийского океанов, а также о масштабах вулканизма океанического дна в этих районах.

За 25 лет собран весьма большой объем материалов по физическим и химическим характеристикам водных масс и их динамике, которые с успехом использовались при разработке физико-химического районирования вод Тихого и Индийского океанов и при составлении океанографических карт и Атласа дальневосточных морей. Особенно подробно исследована система экваториальных течений и противотечений.

С борта «Витязя» было обнаружено и инструментально измерено в Индийском океане глубинное противотечение, аналогичное подповерхностным течениям Кромвелла в Тихом океане и Ломоносова в Атлантическом.

Материалы экспедиций на «Витязе» легли в основу выдающихся научных трудов: многотомной монографии коллектива авторов «Тихий океан», удостоенных Ленинской премии СССР; монографий Л. А. Зенкевича «Биология морей СССР» и А. Н. Иванова «Погонофоры».

«Витязь» побывал в десятках стран северного и южного полушарий, где зачастую участники экспедиций «Витязя»

оказывались первыми советскими людьми, посетившими эти страны или острова. На «Витязе» выполнены многочисленные исследования по таким международным программам, как Международный геофизический год, Международная индоокеанская экспедиция, «Изучение верхней мантии Земли», «Изучение района Куросио». «Витязь» представлял советский научный флот на X Тихоокеанском конгрессе в Гонолулу. Высокая оценка во всем мире результатов экспедиций «Витязя» в значительной степени способствовала международному признанию выдающегося научного вклада ученых СССР в изучение Мирового океана.

Вечное движение

Взаимодействие звеньев в системе „Океан — Атмосфера — Материки“

С каждым годом все новые и новые подтверждения получает теоретическая схема формирования климата при взаимодействии океана, атмосферы и материков. Эта схема была предложена нашими отечественными исследователями, и ее можно рассматривать как развитие идей А. И. Воейкова, высказанных еще в прошлом столетии.

Ныне мы вправе считать, что и в океане, и в атмосфере работают своеобразные мощные тепловые машины, в том смысле, в каком их понимает термодинамика.

В технике одним из примеров тепловых машин может служить паровая машина. Как известно, для ее работы необходимо нагреть в котле воду до кипения. Водяной пар из котла поступает в цилиндры, в которых он расширяется и при этом передвигает поршень. Затем пар выпускается из цилиндров и поступает в холодильник, в котором он конденсируется в воду. Термодинамика доказывает, что вообще никакая тепловая машина не может работать без нагревателя и холодильника. Где же находятся в природе те «нагреватели» и те «холодильники», о которых ныне говорят все геофизики? Для тепловых машин, «работающих» в атмосфере и названных нами машинами первого рода, нагревателем служит экваториальный и два тропических пояса на нашей планете; холодильниками являются высокоширотные шапки в северном и южном полушариях. Работа этих машин первого рода проявляется в пассатной циркуляции тропического воздуха и в так называемой зональной циркуляции тропосферы в более высоких широтах. Для машин второго рода (по нашей терминологии) в холодную пору года нагревателем служит поверхность океанов и морей, а холодильниками — поверхности материков, островов. В теплую пору года нагреватели и холодильники меняются местами. Машины второго рода проявляют свою деятельность в муссонной циркуляции. Машины третьего и четвертого рода работают в стра-

тосфере и даже в ионосфере, где они еще очень мало изучены. Не будем на них останавливаться, а скажем только, что ни стратосфера, ни тем более ионосфера не могут нагреваться и охлаждаться путем непосредственного контакта с подстилающей поверхностью: последняя воздействует на высокие слои атмосферы лишь посредством тепловой радиации, которая, во-первых, идет снизу и, во-вторых, испускается вверх. Результирующий эффект зависит от того, какой из этих двух потоков окажется преобладающим.

Наконец, необходимо еще выделить особо машину пятого рода, лишь недавно поддавшуюся количественному исследованию и представляющую очень большой интерес как с теоретической, так и с практической точки зрения.

«Очаг тепла» в Атлантике

Проследим за некоторыми важными проявлениями работы этих тепловых машин и рассмотрим некоторые новые черты, выявленные в их работе за последнее время.

Соединенный Европейско-Азиатский материк, и в особенности его европейская часть, дают простор для изучения воздействия Атлантического океана на климат и погоду в нашей стране. Сам Атлантический океан в свою очередь демонстрирует мощное влияние материков на режим течений, на ветровой режим и его особенности в районе острых мысов, полуостровов, на развитие мощного штормового волнения в определенных районах акватории.

Много лет занимаясь количественным исследованием взаимодействий между Мировым океаном (с его морями), атмосферой и материками, мы давно пришли к заключению, что отличной характеристикой этих взаимодействий служат температурные изаномалы, бытующие в климатологии и получившие новое значение в нашем анализе: они также красноречиво говорят о тепловых потоках в атмосфере с океана на материк (зимой) или с материка к океану (летом), как о тепловых потоках в каком-либо теле говорят физику изотермы.

Мало того, громадные отрицательные значения температурных аномалий атмосферы в районе Верхоянска свидетельствуют о том, что до этого «старинного полюса холода» Евразийского материка (потускневшего лишь после открытия еще более низких температур в Антарктиде) пра-

ктически не доходит тепло ни с Атлантического, ни с Тихого, ни с Ледовитого океанов. Значит, этот небольшой участок суши в разгар зимы обладает той же температурой воздуха, какой он обладал бы на нашей планете, если бы на ней не существовало океанов. Именно от этой точки мы стали отсчитывать аномалии температуры, приписывая им всюду положительное значение. Сейчас, для решения специальной задачи, слегка отступим от этого обычая и будем отсчитывать аномалии температуры от той, которая характеризует близкую точку, лежащую на параллели 66°N, допустив совсем небольшую погрешность и приобретя преимущества в расчетах. Это потому, что выбранная параллель проходит через точку с самой большой положительной аномалией температуры в Атлантике, а также совсем недалеко от полюса холода в Азии. При таких условиях температурная аномалия в точках кривой, отмеченной нулем на обычных климатологических картах, окажется равной $+24°$, а наибольшая температурная аномалия в Атлантике станет равной $+50,2°$.

На рис. 3 видна изаномала 50°, вычерченная вокруг соответствующей точки, а все семейство изаномал прервано на кривой, отмеченной цифрой 24°. Это и есть та изаномала, которая считается «нулевой» на обычных климатологических картах. Специализированная проекция, в которой построен этот рисунок, позволяет без больших погрешностей измерять на нем нужные расстояния, пренебрегая кривизной действительной поверхности и решая задачу на плоскости. А задача поставлена очень важная: определить, чем создан настоящий «очаг тепла» в близком соседстве со Скандинавским полуостровом и как велико количество тепла, переносимого в атмосфере от всего «перегретого» района Атлантики на материк Европы, в частности на территорию СССР.

В одной из наших работ * изложены все проделанные выкладки. Здесь упомянем лишь о том, что оказалось возможным теоретически вычислить распределение температурных аномалий воздуха вдоль некоторого узкого пояса, мысленно вырезанного из активного слоя атмосферы вдоль параллели 66°N (рис. 4). Вычисления оказались возможными после некоторого упрощения условий: между точками 12 и 13 лежит Атлантический океан, не перерезанный никакими участками суши; между 13 и 14 залегает Евра-

* *В. В. Шулейкин*. Связь между климатом Европы и переносом тепла в Атлантике. «Изв. АН СССР, сер. физика атмосферы и океана», т. IV, № 3, 1968.

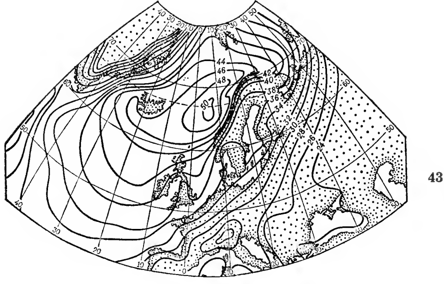


Рис. 3. Температурные изаномалы воздуха над океаном и над материками в специализированной проекции. Плоскость чертежа, на которую спроектированы все точки глобуса, касается его поверхности в точке с наибольшей температурной аномалией

зийский материк. Над океаном два отрезка кубической параболы плавно поднимаются до максимума — до аномалии 46°. Над материком аномалии падают по линейному закону к полюсу холода, оказавшемуся на меридиане 120° — и со стороны Атлантического, и со стороны Тихого океанов. На этом меридиане температура воздуха считается (с небольшой погрешностью) той самой, какая установилась бы тут при отсутствии Мирового океана. Легко заметить, как осложнен ход кривой благодаря вмешательству большого острова Гренландии на пути между точками 1 и 2, Скандинавского полуострова и Белого моря (между 5 и 6). Виден изгиб жирной кривой между 6 и 9, где она отличается от простой теоретической прямой и смещает нуль аномалии к востоку.

Эти отклонения вполне закономерны: выпуклость жирной кривой (книзу) близ точки 7 вызвана уменьшением коэффициента теплопередачи деятельного слоя атмосферы над

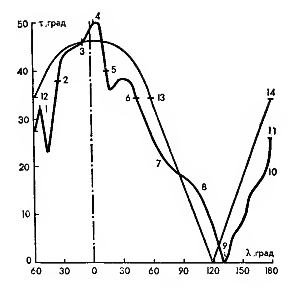


Рис. 4. Разрез поля температурных изаномал воздуха по параллели 66°N. Тонкая кривая — теоретическое распределение аномалий над самой поверхностью планеты. Жирная линия — истинное распределение аномалий вдоль параллели 66°N

Уральским хребтом, а вогнутость (книзу) близ точки 8 — последующим распространением тепловых потоков над сибирскими равнинами. Аналогично происхождение выпуклости близ точки 10, где распространение тепла с Тихого океана затруднено горными хребтами. Понятен сдвиг точки 9 относительно теоретического «нуля» — к окрестностям Верхоянска. Все это связано с осложнением хода жирной кривой.

Несмотря на такие отличия в деталях, очевидна решающая роль Атлантического океана в создании зимнего теплового режима нашей страны. Особый интерес вызывает острый пик над Атлантическим океаном, поднявшийся над теоретической кривой в точке 4 на целых 4°. Чем вызван такой перегрев атмосферы — на 50° сверх той температуры, какая была бы в той же точке при отсутствии вод океана?

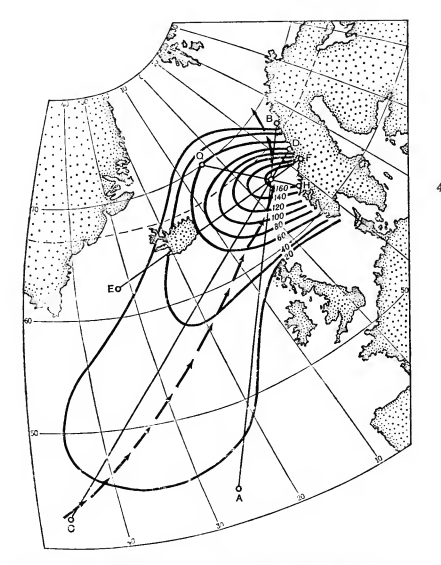


Рис. 5. Тепло, получаемое воздухом за счет турбулентного обмена с поверхностными водами океана. Цифры на изолиниях — поступление тепла в калориях с квадратного сантиметра поверхности в сутки. Стрелки — стрежень Северо-Атлантического течения и его продолжения — Норвежского течения

На этот вопрос можно ответить, проанализировав карты Морского атласа, соответствующие разгару зимы (январю, февралю). Это, с одной стороны, карта среднего многолетнего распределения атмосферного давления, по которой можно определить поле ветра над интересующим нас районом океана. С другой стороны, карты температур воды, различия между температурами воды и температурами воздуха. Наконец, это данные экспедиционных исследований, начиная с плаваний «Персея», освещающие картину распределения влажности, дефицита влажности над водой. По всем этим данным мы вычислили количество тепла, отдаваемого атмосфере поверхностью океана в зимнее время (рис. 5), и количество тепла, которое выделяется в атмосфере при конденсации водяного пара, унесенного с поверхности океана.

Ввиду меньшей надежности вычисления количества тепла, выделяющегося в атмосфере за счет конденсации водяного пара, не было смысла строить отдельно подобную же карту для второй составляющей общего притока тепла с поверхности океана. Оказалось, что с доступной точностью можно считать, что эта вторая составляющая в 1,5 раза превышает первую. Следовательно, карта, рис. 3 дает возможность приблизительно судить о полном притоке тепла с единицы поверхности океана в сутки, стоит лишь все цифры, проставленные при изолиниях, помножить на коэффициент 2,5. Значит, кривая, отмеченная цифрой 160, свидетельствует о том, что тут общий приход тепла составляет 400 кал/см^2 в сутки. Кривая, отмеченная цифрой 50, отвечает 125 кал/см^2 в сутки.

Теперь становится понятной карта, рис. 5 с ее «очагом тепла». Некоторый сдвиг максимума выделяемого тепла на карте, рис. 5 по сравнению с положением «очага» на рис. 3 объясняется воздействием потоков холодного воздуха, стекающего зимой с материка в самом нижнем слое тропосферы, близ Скандинавского полуострова.

Практически можно считать, что основная часть тепла в этой области океана выделяется в атмосферу с акватории, оконтуренной на рис. 3 линией 44°. Количество тепла, поступающего в атмосферу с этой поверхности, составляет $2{,}5 \cdot 10^{18}$ кал в сутки (В. В. Шулейкин, 1968). Так же вычислено количество тепла, которое тут излучается в межпланетное пространство за счет эффективной радиации: оно составляет $0{,}9 \cdot 10^{18}$ кал в сутки. Разность этих величин, переведенная в энергетические меры, равна 78 млн. мегаватт. Нашей стране достается примерно 70% этого тепла, идущего от «очага».

По рис. 5 можно судить и о том, откуда берется все это тепло. Теоретически (В. В. Шулейкин, 1968) количество тепла, с которым мы сейчас встретились, должно составлять лишь $^1/_4$ от полного количества тепла, приносимого в зимнее время с Атлантического океана. Значит, необходимо выяснить: откуда же поступают остальные $^3/_4$?

Ответить на этот вопрос можно на основании анализа современной схемы Атлантических течений, основы которой были намечены еще П. П. Лазаревым *. Приходится удивляться, до чего близко согласуется эта ориентировочная схема с современными работами **. Важно отметить, что, опираясь на последние исследования, мы должны рассматривать систему теплого течения Гольфстрим не как некую «реку в океане», а как своего рода краевой эффект в общей системе Атлантических течений, заключенных в среднем поясе северного полушария. Вся эта система создана воздействием пассатов и влиянием очертаний береговой линии материков к северу от экватора. На всех картах, приведенных в только что упомянутых работах, отчетливо видна обширная зона Атлантики, охваченная циклическими потоками, которые идут примерно вдоль эллипсов с общим фокусом на западе. Именно эта обширная область по всем признакам посылает в атмосфере на территорию нашей страны $^3/_4$ полного количества тепла, доставляемого зимой с океана. Мы исследовали эти потоки ***. Для количественных расчетов траектории водных частиц пришлось схематизировать: представить их в виде эллипсов, обладающих большими осями, направленными вдоль параллели 25°N, и общим фокусом на меридиане 70°W (рис. 6). Длина большой оси внешнего эллипса составляет 5200 км, а малой оси 3200 км.

На основании многочисленных экспедиционных исследований можно считать, что близ западной вершины внешнего эллипса скорости течений составляют около 170 см/сек, а близ восточной вершины — около 20 см/сек. Допустив, что скорости на промежуточных этапах обратно пропорциональны длине перепендикуляров, опущенных из западного фокуса на продолжение векторов скорости,

---

* *П. П. Лазарев.* Собр. соч., т. 3. М., 1950.

** *А. С. Саркисян.* Расчет стационарных течений в океане. «Изв. АН СССР, сер. геофиз.», 1954, № 6; *Г. Стоммел.* Гольфстрим. М., 1963.

*** *В. В. Шулейкин.* Перенос тепла течениями в замкнутом цикле Северной Атлантики. «Изв. АН СССР, сер. геофиз.», 1964, № 2; *В. В. Шулейкин.* Анализ сложных тепловых условий в области замкнутых циклических течений Антлантического океана.— «Изв. АН СССР, сер. физика атмосферы и океана», т. 1, 1965, № 4.



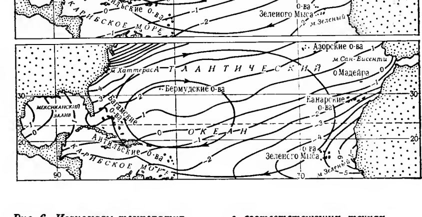


Рис. 6. Изаномалы температур поверхностной воды, созданные благодаря переносу тепла циклическими потоками в Атлантическом океане. Верхняя часть соответствует июлю, нижняя — январю. Цифры на линиях показывают, на сколько градусов температура поверхностной воды в соответствующих точках отличается от той, какая устанавливается на той же широте в том же сезоне на Тихом океане, где отсутствуют подобные циклические потоки (в южном полушарии, где июлю соответствует январь, а январю — июль)

мы получили для времени обхода всего внешнего эллипса значение 14 месяцев. Интересно, что есть основания считать время обхода внутри лежащих эллипсов таким же. Именно этим объясняется практическое отсутствие бокового трения между соседними струями, отмеченное американским геофизиком Г. Стоммелом (1963).

Циклические потоки играют большую роль в перераспределении температур воды на поверхности океана, поскольку они при движении по часовой стрелке непрерывно перемещают воды из одного широтного пояса в другой. В этом можно убедиться, взглянув на тонкие кривые, вычерченные на обеих картах, рис. 6. Легко заметить, что все кривые идут с наклоном к параллелям — с юго-запада на

северо-восток. Нулевая линия проходит от о. Гаити примерно по направлению к Гибралтарскому проливу и зимой, и летом.

Такое же расположение изолиний удалось получить теоретически, проанализировав теплообмен между водами циклических потоков и окружающими водами. Важно подчеркнуть, что благодаря отличию периода обхода всех траекторий (14 месяцев) от года теория подсказывает неизбежность своего рода «биений» в исследуемой системе. Если правильны значения скоростей течений, положенные в основу расчетов, то следует ожидать потеплений и похолоданий в исследуемой области, в особенности на северных этапах пути частиц, сменяющихся с периодом около 7 лет.

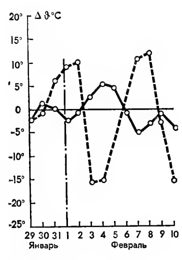
Солнце — Земля

Систематическое исследование температурного режима поверхностных вод должно внести уточнения в эти расчеты и выявить истинное значение периода колебаний. Легко понять, как велико значение подобных расчетов для построения теории изменений климата нашей страны и теории долгосрочных прогнозов погоды.

Но в настоящее время нельзя ограничиваться одними лишь планетарными явлениями, стремясь к созданию этих теорий: космические корабли и искусственные спутники Земли каждый день приносят все новые и новые данные о явлениях, разыгрывающихся в окрестностях нашей планеты, и прежде всего — об изменениях скорости и плотности потоков электрически заряженных частиц солнечного происхождения. Если в недалеком прошлом исследователи подозревали какое-то воздействие этих потоков на метеорологические явления, если стремились установить связь между возникновением, исчезновением, общим числом солнечных пятен, считавшихся основными источниками этих частиц, и изменениями метеорологических явлений в нижних слоях атмосферы, то все эти попытки приводили к неустойчивым соотношениям, которые очень часто не выполнялись.

Напротив, в наше время на смену далеким от нас солнечным пятнам вступили новые характеристики солнечной корпускулярной деятельности, учитываемые на космических кораблях и на искусственных спутниках Земли на несравненно меньших расстояниях.

Числовые характеристики солнечного ветра — скорость полета частиц и плотность их потоков — позволили совет-



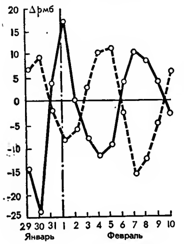


Рис. 7. Колебания температуры воздуха и атмосферного давления в Курске и Рейкьявике во время сейш 1966 г. (январь и февраль). Колебания температуры Δϑ (вверху) и давления Δp (внизу). В Курске — пунктирная кривая; в Рейкьявике — сплошная линия (по С. К. Олевинской, 1967)

скому геофизику Р. В. Смирнову обнаружить несомненные связи параметров этого космического фактора с явлениями, разыгрывающимися в нижней тропосфере. Количественно подтвердился так называемый закон акцентации барических полей, о котором еще в 1920 г. писал советский климатолог Е. Е. Федоров, а в 1924 г. — советский полярник В. Ю. Визе. Подтвердилась высказанная советским геофизиком Л. А. Вительсом в 60-х годах мысль о воздействии импульсов космического происхождения на термобарические сейши (стоячие волны), обнаруженные нами в 1939 г. и, к сожалению, до сих пор описанные лишь нашими весьма грубыми схематизированными уравнениями. Между тем эти сейши являются виновниками самых суровых зимних морозов и заслуживают самого серьезного внимания специалистов по динамической метеорологии.

Чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на рис. 7. Как видим, в Курске температура менялась на 25°, в Рейкьявике давление менялось на 45 мб. Отчетливо видно, что колебания происходили в противоположных фазах — как при сопоставлении географических точек, так и при сопоставлении двух описываемых параметров.

С давних пор исследователи солнечно-тропосферных

связей наталкивались на досадное обстоятельство, которое немало способствовало недооценке их работ скептиками: сопоставляемые явления в тропосфере и в космосе обнаруживали колебания то в общей фазе, то в фазе противоположной. Р. В. Смирнов обнаружил * причину подобного обстоятельства. Оказалось, что знак корреляции меняется тогда, когда Земля переходит из одного сектора околосолнечного пространства в другой сектор, противоположный по знаку поля. Им было показано также, что

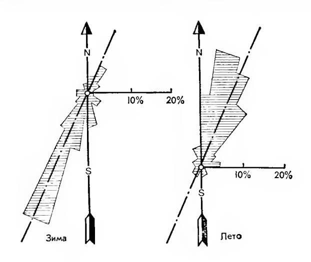


Рис. 8. Гистограммы скоростей движения неоднородностей в слое E ионосферы над берегами Болгарии (по Д. Самарджиеву и Г. Несторову, 1964). Направление генеральной береговой черты нанесено линиями с точками

энергия, сообщаемая магнитосфере Земли при космических импульсах, совсем не так мала, как было принято считать в недавнем прошлом. Ведь активные области поверхности Солнца испускают примерно 10^{13} частиц на 1 см^2/сек.

* *Р. В. Смирнов.* Изменения атмосферной циркуляции при изменениях параметров солнечного ветра.— Докл. АН СССР, т. 187, № 6, 1969.

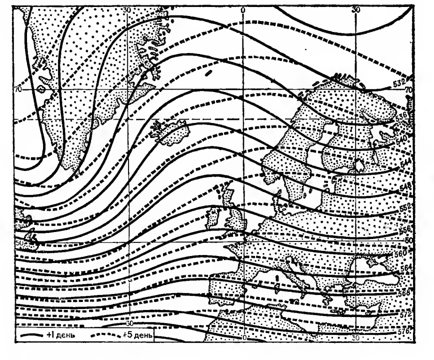


Рис. 9,10. Изменения атмосферной циркуляции после резкого изменения скоростей солнечного ветра (по Р. В. Смирнову, 1969).

Рис. 9. Пунктирные кривые — значения геопотенциала на 500-миллибарной поверхности за два дня до резкого увеличения скорости солнечного ветра. Сплошные линии — значения

Обычная скорость полета этих частиц — протонов, ядер гелия и более тяжелых — составляет сотни км/сек, но во время повышения активности Солнца эта скорость может превышать 1500 км/сек. Подлетая с такой громадной скоростью (и в сильно возросшем по плотности потоке) к границам магнитосферы Земли, они вызывают различные возмущения земного поля: магнитные бури, магнитно-гравитационные волны на поверхности магнитосферы и полярные сияния, которые возникают преимущественно в высоких широтах, но иногда достигают даже тропиков.

Пока еще неизвестно, как передаются эти возмущения вниз, как связаны эти процессы в ионосфере Земли с из-



геопотенциала на той же поверхности через сутки после резкого импульса, вызванного повышением скорости солнечного ветра.

Рис. 10. Пунктирные изолинии геопотенциала, характеризующие пятый день после космического вторжения. Сплошные линии в том же значении, что на рис. 9

менениями режима стратосферы и тропосферы. Но уже сейчас подтверждаются наши соображения о связях хотя бы особенностей подстилающей поверхности внизу тропосферы с потоками ионизованного воздуха на высотах порядка 100 км в ионосфере.

В Кацивели постоянно работает ионосферная станция, на которой регистрируются скорости и направления движения неоднородностей в слое Е ионосферы. Подтвердилось, что эти неоднородности дрейфуют преимущественно вдоль генерального направления береговой черты Черного моря. Еще отчетливей это видно на диаграмме рис. 8: зимой преобладающий дрейф идет в направлении около

202° (на юго-юго-запад), а летом — в направлении около 24° (на северо-северо-восток).

Каким бы ни был механизм воздействия явлений в верхней ионосфере на явления в нижней тропосфере, изменения режима в ней достаточно надежно установлены (рис. 9, 10).

За два дня до космического вторжения наблюдается нормальный режим тепловых машин первого рода с нагревателем в тропической зоне, холодильником на севере и явно выраженной зональной циркуляцией, которая лишь частично осложнена действием машин второго рода (Океан — Атмосфера — Материки). Через сутки после резкого им-

пульса явно обнаружилась тенденция перехода от зональной циркуляции к меридиональной.

Сейчас Р. В. Смирновым собран большой материал подобного рода, свидетельствующий об изменениях направления потоков в тропосфере, которые отвечают за перенос тепла между океаном и материками. Как следствие он установил, что при таких сменах резко меняется погода. Обнаружилось, что наибольшие изменения температуры воздуха и атмосферного давления наступают в точках, лежащих на береговой линии океана и даже небольших морей (например, Черного). Это своего рода «эффект цилиндрической линзы», как бы протянувшейся вдоль берега.

Изменения режима тепловых машин первого и второго рода при космических вторжениях — при повышении скорости солнечного ветра — прослеживаются на всей нашей планете.

Самым замечательным годом в этом отношении был 1957 г., характеризовавшийся особо частыми и сильными взрывами на Солнце, которые сопровождались испусканием плазмы с максимальными скоростями частиц. Норвежский геофизик Я. Бьеркнес продемонстрировал на Международном океанографическом конгрессе в Москве (1966) карты барической топографии над Тихим океаном, соответствовавшие зимам 1955/56, 1956/57 и 1957/58 гг. При сопоставлении их видно, как в конце 1957 г. резко углубился минимум атмосферного давления близ Аляски и как вообще усилилась атмосферная циркуляция над океаном и над западным побережьем Северной Америки.

Все это было связано с расширением пояса теплых вод в зоне пассатов в 5 раз против средней многолетней нормы и появлением редко наблюдаемого теплого течения Эль-Нинья. Но изменения циркуляции не ограничились упомянутыми районами: они охватили не только Северную

Америку и северную часть Атлантического океана, но также и все воздушное пространство над Европой, над нашей страной.

Тропический ураган

В самом начале настоящей статьи было упомянуто о тепловой машине пятого рода, работу которой исследуют во многих странах, даже далеких от районов ее проявления. Это — тропический ураган, термодинамика и механика которого стали понятными лишь недавно.

Обширный материал по географии тропических ураганов содержится в книге Д. В. Наливкина *. Большинство исследователей ограничиваются внешними характеристиками условий, в которых проходили ураганы, и очень мало работ посвящено попыткам приближенно решить сложную термогидродинамическую задачу. Все эти попытки не привели к решениям, которые могли бы осветить механику самых мощных ураганов. По этой причине мы подошли к решению задачи о тропических ураганах с иной стороны **, что позволило сделать интересные выводы.

Прежде всего, воспользовавшись результатами измерений скоростей ветра на различных расстояниях от центра мощного — достаточно типичного — урагана, мы экстраполировали полученную зависимость от расстояния на все поле урагана, от его «глаза» до границы с невозмущенной областью.

На основании многочисленных фотографий облачных систем, полученных с искусственных спутников Земли, приняли, что с достаточным приближением угол между тангенциальной составляющей скорости и полным вектором скорости может считаться постоянным. Исходя из этих положений, удалось найти приближенные выражения для всех важных параметров системы тропического урагана в простых алгебраических функциях. В частности, был найден радиус окружности, оконтуривающей на поверхности океана ту площадь, с которой вверх поднимаются восходящие потоки воздуха, близкого к насыщению водяным па-

* *Д. В. Наливкин*. Ураган, бури, смерчи. М., 1969.

** *В. В. Шулейкин*. Зависимость между мощностью тропического урагана и температурой подстилающей поверхности океана. — «Изв. АН СССР, сер. физика атмосферы и океана», т. 6, № 12, 1970; т. 8, №1, 1972.

ром. Далее были найдены скорости этих восходящих потоков, и оказалось возможным вычислить количество пара, поднимающегося до уровня, на котором происходит его конденсация с выделением большого количества тепла. Была вычислена энергия, сообщаемая за счет этого системе урагана в секунду, применительно к типичному урагану, развивающемуся до полной мощности над водной поверхностью с температурой 28°. В результате была вычислена мощность, поглощаемая трением воздуха о поверхность океана в системе исследованного урагана. Принято, что это та доля полной мощности, сообщенной урагану от океана, которая превращается в механическую энергию.

Сравнив выделившуюся мощность со всей переданной океаном при конденсации водяного пара, мы вычислили коэффициент отдачи. Этот коэффициент, как во всякой тепловой машине, возрастает с увеличением разности температур между нагревателем и холодильником (ввиду невозможности найти точную зависимость между этими величинами была принята приближенная).

Наконец, простые алгебраические соотношения позволили определить изменения мощности, отдаваемой океаном при изменениях температуры поверхностной воды, и изменения мощности, поглощаемой при этом трением о поверхность воды.

На рис. 11 вычерчены кривые, характеризующие строение поля типичного тропического урагана большой мощности. Предполагается, что все данные отвечают температуре поверхностной воды 28°. Здесь кривая 1 выражает теоретически найденный закон падения давления атмосферы по мере приближения к «глазу» урагана (граница «глаза» отмечена тонкой вертикальной прямой). Как видим, оно достигает 85 мб. Кривая 2, построенная на основании экстраполированного материала наблюдений, описывает нарастание тангенциальной составляющей скорости (до 75 м/сек), а кривая 3 — нарастание радиальной составляющей (до 24,4 м/сек). Очень важная кривая 4, построенная на основании условия неразрывности, показывает, что вертикальная составляющая скорости ветра достигает на границе «глаза» около 50 см/сек, причем кривая пересекает ось абсцисс на расстоянии 225 км от центра урагана. Это значит, что на такое расстояние простирается «ядро урагана», внутри которого восходящие потоки воздуха поднимают с поверхности океана водяной пар. За пределами 225 км существуют нисходящие токи воздуха.



Рис. 11. Строение поля типичного тропического урагана (модель). Подробное описание см. в тексте, стр. 56

Надо отметить, что все перечисленные значения относятся к плоскости, лежащей на высоте 500 м над океаном. На самой поверхности океана тангенциальная и радиальная составляющие должны быть меньше примерно на 10%. Интересно, что диаметр «ядра урагана» — 450 км — оказался примерно таким же, как ширина теплого Северного пассатного течения, над которым преимущественно движутся атлантические ураганы. Тем самым обеспечивается бесперебойная подача тепла от «нагревателя»; «холодильником» же служит все пространство, окружающее систему

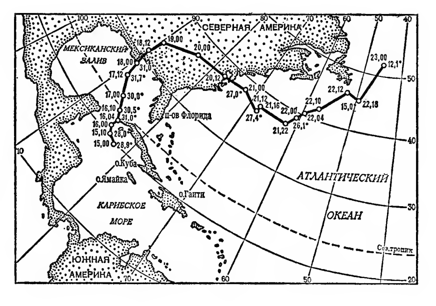


Рис. 12. Путь урагана «Камилла» с 15 по 23 августа 1969 г. (по данным Гидрометцентра СССР). Слева от кривой две первые цифры до запятой — числа месяца, две другие — часы суток; справа от кривой — температуры поверхности воды

урагана. Полная мощность, получаемая таким ураганом от «нагревателя», оказалась, по нашим вычислениям, равной 200 млн. мегаватт (т. е. 200 млрд. кВт). Как видим, она в 2,5 раза превышает ту мощность, которая отдается всей поверхностью океана, окружающей «очаг тепла» близ Скандинавского полуострова. Надо учесть при этом, что там площадь «нагревателя» простиралась на 15° вдоль меридиана, а в случае нашего «стандартного урагана» она занимает лишь 4° вдоль меридиана.

Коэффициент отдачи, который характеризует превращение тепловой энергии в механическую, в среднем несколько превышает 3%. Учтя приблизительно его изменчивость (при изменении температурных условий), мы получили для «стандарта» — при температуре поверхности океана 28° — значение механической мощности урагана около 7 млн. мегаватт. При температуре поверхностной воды 27° эта мощность, поглощаемая трением воздуха о поверхность океана, уменьшается до 6, при температуре

29° достигает примерно 8, а при температуре 32° — около 12 млн. мегаватт.

В августе 1969 г. в Карибском море и Мексиканском заливе получил развитие ураган небывалой мощности, носивший имя «Камилла» (рис. 12). В полдень 17 августа центр урагана находился над участком поверхности Мексиканского залива с температурой поверхностной воды 31,7°. Между тем из карты Морского атласа, относящейся тоже к августу, явствует, что средняя многолетняя температура поверхностной воды тут не достигает даже 29°. Следовательно, исходя из проведенных нами вычислений, можно считать, что ураган «Камилла» должен был развить механическую мощность, в 1,5 раза превышающую среднюю норму для мощных ураганов, наблюдаемых над Мексиканским заливом.

На основании тех же теоретических расчетов следует, что «Камилла» должна была обладать мощностью, вдвое превышавшей среднюю мощность обычных ураганов, следующих на запад вдоль Северного пассатного течения.

Говоря о развитии тропического урагана, мы пока учитывали взаимодействия лишь между двумя звеньями системы «Океан — Атмосфера — Материки». Но легко показать, что и третье звено — суша — также повинно в возникновении этого мощного явления, и именно в возникновении его на первых, зачаточных этапах. Действительно, французский геофизик А. Вильвьей * проследил за 10 ураганами, пересекавшими Атлантический океан от берегов Африки до берегов Северной Америки, которые прошли наибольшую часть пути над теплыми водами Северного пассатного течения. Он обнаружил, что они зарождались над Африканским материком, близ оз. Чад, сперва в виде слабых вихрей. Затем, выйдя в океан, эти вихри наращивали свою мощность (несомненно, по схеме, описанной выше). И это естественно: ведь в идеальной жидкости вообще не могут возникать вихри; в воздухе, обладающем вязкостью, они возникают не как-то самопроизвольно, а благодаря трению между слоями, движущимися один относительно другого с достаточной скоростью. В частности, сильные вихри возникают при движении воздушных потоков над какими-либо неоднородностями подстилающей поверхности. В данных случаях небольшое оз. Чад представляет собой участок поверхности, резко отличный от окружаю-

---

* *A. Villevielle.* Sur l'origine et genèse des cyclones tropicaux de la mer Antilles. C. R. Acad. Sci. Paris, v. 258, 1964.

щих его раскаленных песков; зарождение вихрей тут обеспечено. Некоторые вихри могут возникать при стекании потоков пассата с Зеленого Мыса или при обтекании о-вов Зеленого Мыса. Что касается урагана «Камилла», то для его развития над сильно перегретыми водами Карибского моря и Мексиканского залива достаточно было вихря, возникшего при обтекании острова Ямайка. Как видим, и тут перед нами все три звена системы «Океан — Атмосфера — Материки».

На рубежах земли и моря

До недавнего времени, а именно до середины 40-х годов, в арсенале науки было очень мало сведений о динамике морских берегов. Несмотря на важность изучения этой проблемы для мореплавания и портостроения, в довоенные годы ею почти никто не занимался. Понимая нетерпимость такого положения, академик П. П. Ширшов, будучи министром морского флота, предложил создать в Институте океанологии Академии наук СССР специальный береговой отдел. Такой отдел был создан. И летом 1945 г., вскоре после окончания Великой Отечественной войны, была организована первая советская экспедиция по изучению динамики морских берегов. Началась история наших исследований таинственных рубежей суши и моря.

В середине августа мы прибыли на место исследований — на пологий берег западнее Евпаторийского мыса. Помню, я и мой первый помощник В. В. Лонгинов уселись на песчаном пляже рядом с вытащенными из воды шлюпками, чтобы собраться с мыслями, и каждого из нас охватила полная растерянность. У нас был план на ближайшие два месяца, имелось оборудование и была целая команда из молодежи для технической работы. Но нам хотелось сразу же уяснить и перспективу дальнейшего развития исследований: что мы должны сделать, скажем, за десять лет?

На берегу ставился лагерь, а прямо перед нами кипели буруны, и волны бесконечной вереницей вкатывались с открытого моря на мелководье. Каждая из них вырастала крутой зеленоватой стеной, изгибалась, и ее гребень падал, словно вскипая. Начавшись в одной точке, это вскипание с молниеносной быстротой распространялось белой полосой на громадное протяжение, и до нас в ритмичном шуме прибоя долетал новый аккорд. Но мы не отрывали глаз от запрокинувшейся волны. Она продолжала бежать к берегу, и с каждым мгновением на ней становилось все

меньше пены. Вот она вновь стала пологой, прозрачной, и еще раз в уменьшенном масштабе повторилось ее забурунивание. Вконец истощенная волна упала на песок и мягко щекотала ноги.

Ярко светило солнце; тысячи бликов заставляли щурить глаза и прикрывать их ладонью. Невольно пришли в голову слова М. Горького: «Море играло, море смеялось...» И действительно, в тот момент оно могло над нами смеяться.

Что мы могли противопоставить его силе и мощи? Как вырвать у моря тайны и научиться если не управлять его силой, то хоть успешно обороняться от него там, где оно, разрушая сооружения и берега и мешая плавать кораблям,

приносит человеку наибольший вред. А потом еще хотелось узнать, где и как прячет море свои минеральные богатства. Да, прежде всего нужно было продумать общий план готовящегося наступления.

Перед нами была поставлена первая задача — научиться прогнозировать изменения прибрежных глубин, заносимость портов и морских каналов, а затем уметь оценивать эффективность различных вариантов предполагаемых мер борьбы с этим бедствием.

П. П. Ширшов рассказал нам, что в ближайшие 10—15 лет будет происходить резкое увеличение тоннажа и глубины осадки морских судов, а это потребует реконструкции многих существующих портов. Кроме того, развитие экономики СССР заставляет уже сейчас искать места строительства новых морских портов. Они должны быть расположены на таких участках, где будет минимальная заносимость и где волны не смогут разрушать портовые молы. На этих участках можно строить относительно короткие и не такие мощные оградительные сооружения, что даст экономию в десятки миллионов рублей.

Мы знали, что в основе решения этой первой задачи лежит физика изучаемых явлений. Знали мы и то, что волновое движение жидкости изучено достаточно полно лишь для идеальных условий, когда бассейн не имеет ни границ, ни дна. Но перед нами было как раз обратное: у бассейна были дно и граница — берег. Здесь картина волнового движения несравненно сложнее.

На поверхности глубокого моря частицы воды при волнении совершают правильные круговые орбиты (рис. 13, *А*). Когда бежит волна, то смещается только ее внешняя форма, масса воды остается почти на том же месте. Диаметр орбит на поверхности равен высоте волны, а на глубину — быстро уменьшается. Время полного колебания (или период волны) как раз укладывается в тот промежуток, за

который вся волна прокатится через данную точку — от гребня предыдущей до гребня последующей. Расстояние между двумя гребнями и есть длина волны.

На мелководье круговые орбиты превращаются в эллиптические; с глубиной они тоже уменьшаются и становятся все более плоскими (рис. 13 *Б*). А что происходит у самого дна? Простейшие наблюдения показывают, что под гребнем волны придонная вода стремится к берегу, а под ее ложбиной — обратно. В этом может убедиться любой купальщик. Если во время не очень сильной зыби он приж-

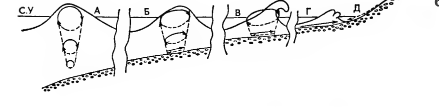


Рис. 13. Внутреннее строение волны:
А — на глубоком море;
Б — на мелководье;
В — момент разрушения;
Г — прибойный поток;
СУ — средний уровень моря

мет к груди колени и опустится на дно, то его будет перекатывать взад и вперед под каждой волной.

Выведены специальные формулы, по которым можно подсчитать скорости и длины волновых движений воды на любой глубине. Однако эти формулы получены теоретически, а их надо было проверить в природных условиях.

Изучая работу моря, мы должны хорошо представлять себе и само вещество — состав материала наносов, который волны частично создают, разрушая коренные породы, а в большой мере получают уже в готовом виде из устьев рек (речные наносы). Массы песка, гравия, гальки, обломков ракушек представляют собой своеобразную рыхлую горную породу, состав и свойства которой меняются по мере движения частиц наносов, их сортировки, окатывания и измельчения. Это уже область литологии — науки об осадочных породах. Но нам нужно знать не только литологию, но и литодинамику наносов, т. е. процессы их перемещения и изменения (откуда они пришли в данное

место и каким образом заполняют морские каналы и акватории портов).

И наконец, самое главное: мы имеем дело с прибрежной зоной в природе, с ее своеобразными очертаниями, профилем, формами рельефа. Значит, станем прежде всего геоморфологами и попытаемся понять, как все эти формы возникли, пришли к равновесию и как они будут изменяться в дальнейшем. Для этого придется объездить тысячи километров берегов на разных морях и везде смотреть, сопоставлять, исследовать и измерять как будто застывшие формы, пытаясь уловить самое существенное в ходе невидимых изменений.

64 Таким образом были намечены три основных направления будущей работы: изучение гидродинамики прибрежной зоны, изучение литологии и литодинамики морских наносов и региональные исследования рельефа и строения прибрежной зоны в различных условиях. В целом работы по трем намеченным направлениям обеспечивали создание общей картины (раскрытие общих законов) развития прибрежной зоны моря, а следовательно, могли дать возможность прогнозирования изучаемых явлений.

Тогда же было решено, что физикой изучаемых явлений займется В. Лонгинов. Задача эта наиболее ответственная и, увы, наименее романтическая. Однако решать ее легче было именно ему благодаря соответствующей теоретической подготовке. В. Лонгинов взялся сначала изучать силы, действующие по нормали к берегу и вырабатывающие своеобразный профиль дна и пляжа. Сейчас первый этап исследований уже завершен. Их результаты уже используются в практике.

Остановимся на основном из того, что было достигнуто. Но прежде заметим, чем различаются термины «берег» и «прибрежная зона».

Берег — это, собственно, граница суши и моря: иногда четкая линия, чаще сравнительно узкая «земноводная» полоса, временно заливаемая водой, то низменная, то лежащая у подножия высоких обрывов. Понятие прибрежной зоны значительно шире. Дело в том, что воздействие волн на дно начинается еще далеко от берега. В Черном море, например, волны могут выбрасывать на сушу створки ракушек и песок с глубин около 20 м. На меньших глубинах они уже перетаскивают гальку и валуны, а у берега — даже обломки скал. Так, у подножия утесов Южного берега Крыма часто встречаются глыбы известняка величиной с письменный стол, поверхность которых буквально

изъедена моллюсками камнеточцами. Они высверливают многочисленные отверстия до сантиметра в поперечнике, в которых можно различить иногда еще совершенно свежие раковины этих моллюсков. Правда, их трудно выковырять, так как диаметр раковины больше, чем входное отверстие норки моллюска (она там выросла). Зато наличие свежих раковин в толще камня означает, что такие глыбы выброшены на берег штормом еще в этом году.

Очевидно, современные накопления наносов на берегу сформировались в результате работы волн, охватывающей довольно широкую зону дна. А если волна над мелководьем может совершать определенную работу, то на это расходуется ее энергия. Значит, к берегу она подходит уже значительно ослабленной, особенно по сравнению с тем запасом энергии, который заключался в ней на глубоких местах. Но если это так, то возникает вопрос: можно ли изучить причины и ход изменений собственно берега, не зная, сколько энергии потеряла и какую работу произвела волна над подводным береговым склоном и сколь глубоко лежит граница последнего в каждом определенном месте?

И дальше. Раз в результате работы волн изменяется профиль дна, то последний в свою очередь определяет иной характер деформации волны. Должен же быть какой-то общий принцип, управляющий этими процессами и приводящий к временному равновесию профиля и действующих сил, которое мы и наблюдаем в большинстве случаев на морских берегах.

Из всего этого следует, что вообще изучать изменения берегов невозможно, ограничиваясь лишь тем, что увидит глаз ученого на суше, хотя именно так в продолжение вот уже более ста лет и велись береговые исследования. Для того чтобы выполнить поставленные задачи, необходимо было проникнуть в водную толщу и опуститься на дно. Только там мы сможем наблюдать интересующие нас процессы и измерить те силы, которые изменяют прибрежную зону в целом, начиная от надводных форм берега и до тех глубин, где кончается воздействие волн на донные грунты. Эта глубина примерно составляет треть длины средней штормовой волны, характерной для определенного места — от 100 м глубины в открытом океане и до 25 м на Черном море.

В начале любого исследования необходимо иметь рабочую гипотезу. Она будет проверяться получаемым природным материалом и уточняться в процессе работы. Если она была ошибочной, то в ходе проверки вместо нее родит-

ся новая. Приступая к изучению развития профиля подводного склона, мы обратили главное внимание на асимметрию волновых колебаний деформированной волны. Это явление было подмечено еще в прошлом столетии итальянским гидротехником Паоло Корнальей. Наблюдения водолазов показали, что у дна под каждой волной вода несется к берегу очень быстро, но сравнительно короткое время. Ее обратный ток занимает больше времени, но его скорость относительно мала. Можно думать, что в итоге полного колебания количество воды, прошедшей через данную точку к берегу и обратно, остается примерно одинаковым. Подмеченная неоднородность волновых движений соответствует и внешней асимметрии формы волны у берега в зоне ее деформации. Известно, что при этом гребень волны укорачивается и приобретает крутой передний склон, а ложбина волны становится относительно длиннее (рис. 13, *Б*).

Интуиция опытного инженера подсказала П. Корналье, что описанное явление определяет строение профиля дна в любом месте, но сделанная им в свое время математическая интерпретация процесса оказалась ошибочной. Тем не менее на основании его выводов мы наметили рабочую схему, которую затем и подтвердили на фактическом материале, исследуя динамику профиля, выработанного в галечных наносах.

Придонные волновые колебания воды имеют, как вы помните, возвратно-поступательный характер (их направление и скорости быстро изменяются). Во время волнения галька катается вниз и вверх по откосу наклонного дна. В движение ее приводит ток воды. Оно начинается тогда, когда скорость тока превысит определенную величину, при которой трогается с места галька данного диаметра. Во время прохождения гребня волны ток воды направлен к берегу и галька катится вверх по откосу против действия силы тяжести (на ровном дне она прошла бы большее расстояние). За каждым гребнем следует ложбина волны; вода устремляется в обратном направлении и после небольшой паузы снова подхватывает гальку. Но теперь сила тяжести ускоряет движение гальки, и она пройдет путь больший, чем это имело бы место на горизонтальном дне.

Отсюда как будто следует, что после прохождения ряда волн галька сместится вниз по откосу. Представив себе этот процесс действующим долгое время, мы придем к выводу, что весь галечный нанос будет увлечен волнами от берега и уйдет на такие глубины, где волновые течения уже не достигают скорости, необходимой для сдвигания галь-

ки с места, и что дно и берег станут бесконечно разрушаться. Однако этого не происходит, не происходит именно вследствие неравенства скоростей движения воды в обоих направлениях.

Изобразим этот процесс графически (рис. 14). По оси абсцисс отложено время, равное периоду волны, а по оси ординат — скорость движения воды (V_b) и какой-нибудь одной гальки. Поскольку волновые колебания у дна асимметричны, время прохождения гребня волны через дан-

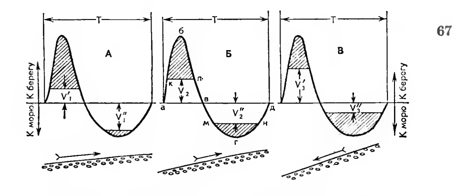


Рис. 14. Графики асимметрии волновых движений и перемещения гальки в зависимости от уклона дна (уклон и направление перемещения указаны под графиками)

ную точку будет короче, чем время прохождения ложбины, и путь частицы воды за полное колебание соответствует кривой *абвгд*. на рис. 13, *Б*.

Под гребнем волны, как только скорость течения $\left(V\frac{1}{2}\right)$ станет достаточной (рис. 13, *Б*, точка *к*), чтобы сдвинуть гальку с места, она будет подхвачена водой и покатится все быстрее вверх по откосу дна. Потом, после прохождения точки *б*, скорость качения замедлится, и галька остановится, когда скорость снова упадет ниже «сдвигающей» (точка *л*). Для упрощения допустим, что весь свой путь вместе с водой эта галька пройдет со скоростью $V = V_b - V_2'$ и, следовательно, он будет пропорционален заштрихованной площади *кбл* (интеграл скорости по времени).

Такая же картина повторится при прохождении ложбины волны, но вода будет течь уже в обратную сторону.

В этом случае сдвигающая скорость вниз по откосу (V''_2) окажется несколько меньшей, так как сила тяжести сейчас способствует (а не препятствует, как в первую фазу) движению гальки. Вследствие неравенства скоростей V'_2 и V''_2, которое проявляется на дне с ощутимым наклоном, площади *кбл* и *мгн* могут оказаться неравными: первая будет больше. Это значит, что путь гальки вверх по откосу будет длиннее, чем вниз. В результате целого ряда таких возвратно-поступательных движений галька постепенно будет перемещаться кверху вопреки действию тяжести. Количество воды, проходящей поочередно в обоих направлениях, может оставаться при этом одинаковым.

Теперь рассмотрим движение той же гальки на дне с другими уклонами (рис. 13, *А* и *В*) при тех же глубине, величине волны и степени ее деформации. На более отлогом дне (рис. 13, *А*) разница между сдвигающими скоростями (V'_1 и V''_1) уменьшается и деформированная волна будет гнать гальку вверх по откосу с большей интенсивностью. Наоборот, на крутом дне (схема *В*) воздействие силы тяжести возрастет, сдвигающие скорости (V'_3 и V''_3) станут резко различными и галька, перекатываясь взад и вперед, будет смещаться книзу.

Несомненно, существует и тот единственный уклон (для каждой данной глубины и данной крупности частиц), на котором галька будет проходить вверх и вниз равные отрезки пути, пока не изменится характер волнения. Совокупность этих точек вдоль всего откоса дна образует так называемую нейтральную линию.

Понятие «нейтральная линия» довольно сложно. Заметим, что на лекциях в университете профессор О. К. Леонтьев излагает этот вопрос в течение двух часов, причем его слушают студенты, имеющие соответствующую подготовку. Но даже для них сущность тонкого механизма работы волн является на экзаменах одним из «камней преткновения». Мы же рассмотрим его в самом общем виде.

Динамическое равновесие, которое достигается на «нейтральной линии», имеет сложную природу и определяется несколькими условиями. Первое — это уклон дна. В море он изменяется от 0,20 (для крупной гальки) до менее чем 0,01 (для тонкого песка). Второе — это гидравлическая крупность частицы наноса (т. е. скорость ее падения в спокойной воде). Она зависит от размера частицы и ее удельного веса. Третье — основные параметры волновых колебаний (их период и скорость) и, наконец, четвертое — степень асимметрии волновых колебаний.

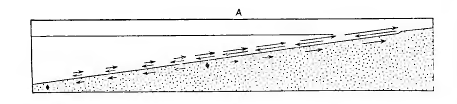
Сам Корналья считал, что нейтральные линии реально существуют на любом участке дна, покрытого наносами. Многие его последователи пытались ввиду большой практической важности этого вывода установить их положение различными способами. Ведь если Корналья прав и заносимость портов определяется только теми процессами, которые идут на мелководье выше нейтральной линии, то и прогноз службы проектируемых морских портов значительно облегчается.

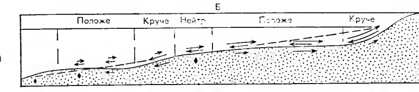
В Советском Союзе также занимались этим вопросом. Автор, например, еще в 1940 г. вел подводные наблюдения подвижности галечного дна во время зыби у Южного берега Крыма. В качестве индикатора движения наносов использовались гравий и галька, окрашенные в яркий цвет. В результате проделанной работы были получены данные о строении профилей и составе наносов на разных участках берегов, и мы пытались разобраться в этой сложной картине.

В итоге был сделан совершенно определенный и новый вывод: если волнение данной силы действует достаточно долгое время (хотя бы несколько часов), то в прибрежной части все дно приходит в состояние равновесия. Больше того, нейтральной линии на нем нет, а есть достаточно широкая нейтральная зона, в пределах которой все наносы находятся в сильнейшем движении. Однако перемещения наносов не происходит ни вниз, ни вверх по откосу. Кроме того, галечный откос никогда не бывает прямолинейным: он вогнут. У берега его наклон наиболее крут, а с глубиной — выполаживается.

Для объяснения природы этого равновесия нужно было развить положения Корнальи и постараться сначала представить себе, а потом и рассчитать, какие деформации испытает подводный откос при длительном воздействии волнения.

В качестве условного примера возьмем движение наносов одинаковой величины на дне одинакового уклона, но при этом сделаем два следующих допущения: во-первых, будем считать, что скорости и асимметрия волновых колебаний возрастают от основания подводного берегового склона до точки разбивания волны; во-вторых, допустим, что частицы наноса имеют достаточные размеры для того, чтобы, при максимальных скоростях волновых течений не переходить во взвешенное состояние, т. е. оставаться в контакте с дном, перекатываясь по его поверхности. На всем откосе действие силы тяжести и период волновых колебаний примем постоянными.





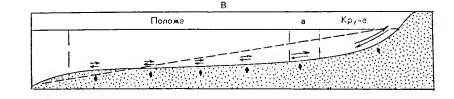


Рис. 15. Выработка профиля равновесия галечного дна. (Тонкие стрелки — размах возвратно-поступательных движений частицы наноса; жирные стрелки — итоговый путь частицы наноса)

Различную степень асимметрии и возрастание скоростей волновых колебаний изобразим тонкими стрелками на графике (рис. 15). Когда на этом же графике мы нанесем итоговые величины скоростей смещения гальки за время полного колебания (жирные стрелки), то получим следующую картину: в зависимости от абсолютных скоростей и степени асимметрии движения воды на дне образуются две зоны противоположного перемещения, между которыми проходит нейтральная линия. В нижней части откоса галька будет перемещаться книзу, а в верхней — кверху. Но так как на откосе мы имеем дело не с одной галькой, а со всем верхним слоем галечного грунта, то во время волнения рассматриваемый откос равномерного уклона начнет деформироваться. Часть гальки будет выброшена к самому берегу: берег неизбежно нарастет, а дно на мелководье

станет круче. Другая часть гальки будет аккумулироваться у основания склона и создаст там своеобразную ступень, которая уплощает откос (рис. 15, *Б*).

По мере того как зоны размыва дна в виде двух пологих «канав» будут постепенно приближаться к нейтральной линии, галька и там придет в движение и будет увлечена или кверху или книзу. Таким образом, ни в одной точке прямого склона равновесие невозможно.

Было бы слишком долго разбирать последовательно ход всех этих процессов. Эксперименты с искусственными откосами и природные наблюдения показывают, что равновесие наступает тогда, когда по всему склону отрезки пути гальки как вверх, так и вниз по откосу станут равными для каждой точки, хотя их абсолютные траектории будут возрастать от нуля в основании откоса до максимума в зоне разбивания волны (рис. 15, *В*). Таково свойство почти всех природных галечных и гравийных профилей дна в прибрежье, если отвлечься от их временных перестроек, зависящих от смены волнений различной силы. На крутом вогнутом профиле удельная энергия волны * возрастает в направлении к берегу. С уменьшением глубины галька совершает колебания все большего размаха и со все большей скоростью.

Рисунок профиля галечного дна, достигшего равновесия, зависит от двух основных условий: крупности частиц наноса и параметров волн. Чем нанос крупнее, тем откос делается более крутым и тем на меньших глубинах прекращается его движение. Величина волн определяет глубину и интенсивность их воздействия на дно. При прочих равных условиях, чем крупнее волны, тем более отлогим и длинным является откос и ниже опускается граница подводного берегового склона.

В своем анализе мы не учли еще целый ряд условий, определяющих величайшее разнообразие природных профилей. Во-первых, никогда не встретишь участка галечного дна, на котором наносы имели бы одинаковую крупность. Волны распределяют материал таким образом, что наиболее крупный оказывается прижатым к берегу, а наиболее мелкий уходит на глубину.

Во-вторых, во время волнения происходит некоторая передача воды по ходу движения волны, т. е. к берегу. Круговые орбиты частиц воды, о которых говорилось выше, строго говоря, не являются замкнутыми, даже когда

---

* Энергия, отнесенная к единице объема воды.

по морю бегут гладкие правильные валы зыби, что бывает при штиле. Создается своеобразное течение, направленное к берегу. Оно усиливается, если волны имеют характер «ветровых». Когда ветер дует с берега, течение ослабляется, но не исчезает.

Поверхностное течение вызывает подъем уровня воды, и в результате одновременно с ним возникает придонное «обратное» течение, направленное к морю. Его скорости суммируются с чисто волновыми колебаниями воды, и, хотя качественно этот процесс остается тем же самым, возможность его расчета из-за этого усложняется.

В самом деле, рассмотренный график принципиально не изменится, если сдвинуть его ординаты на всех фигурах вниз на величину, соответствующую скорости донного течения, направленного к морю. Перемещение крупных частиц наносов будет продолжаться вверх по склону до тех пор, пока площадь *кбл* остается большей, чем *мгн*. Однако для мелких частиц (гравия) положение может стать иным. Их сдвигающие скорости V' и V'' очень малы и поэтому прижаты к абсциссе. Зерна гравия будут находиться в движении относительно долгое время и проходить почти весь путь вместе с водой. Следовательно, частица гравия при каждом волновом колебании будет сдвигаться вниз по откосу. Иными словами, крупный материал идет к берегу и одновременно с этим мелкий — в сторону моря. Эти процессы намного сложнее происходящих в реке, где наносы любой крупности всегда идут в одну сторону, а именно вниз по течению, и притом мелкие движутся всегда скорее, чем крупные. В море из этой массы наносов, которая пролагает свой путь вверх по склону, крупные частицы опережают своих малых собратьев. На этот счет есть и прямые наблюдения, и теоретические предпосылки.

У берегов с неровными очертаниями (бухты и мысы) придонный отток концентрируется обычно в средней части бухт, поэтому дно здесь бывает значительно отложе, чем у открытых берегов, хотя в обоих случаях наносы имеют одинаковую крупность.

Велики ли силы, о которых мы рассказываем? Измерения с помощью приборов удавалось производить при волнах не более 1 м высоты. При более высоких волнах техника пока выходит из строя. Но и при таких малых волнах мы имеем дело с давлениями примерно до 10 г на 1 кв. см. Представить же, что делается на дне в сильный шторм, нам помогают некоторые интересные факты. Так, например, в Голубой бухте (у Геленджика), где наблюдается сильный донный отток, во время одного шторма был передвинут в

море на расстояние 150 м бетонный массив весом 200 кг, а в Японском море у ровного берега был выброшен на пляж с глубины 5 м якорь весом более 100 кг. В этих случаях волновые давления должны достигать уже сотен граммов на 1 кв. см и соответственно нескольких тонн на 1 кв. м.

Несмотря на ряд усложняющих влияний, сущность описанных выше процессов, несомненно, разгадана. Теперь мы понимаем, почему море не может смыть галечные берега и почему они как бы пульсируют при каждом шторме. Галька оттягивается на дно при усилении волнения, но, когда погода становится тише, она вновь выбрасывается к берегу. Пляж снова расширяется, и его чистая, обновленная поверхность так и манит расположиться у моря и принять солнечную ванну.

До сих пор мы рассматривали движение и перемещение «грубых» наносов, которые перекатываются по дну. Но гораздо чаще пляж и дно у берега состоят из песка. Известно, что песок очень легко взвешивается, т. е. на некоторое время переходит в водную толщу. Будучи взвешенными, наносы совершают свой путь вместе с течением воды, поэтому асимметрия волновых колебаний лишь косвенным образом может влиять на выработку профиля песчаного дна.

Дно у песчаных берегов бывает наиболее отлогим. Правда, оно иногда имеет довольно сложный рельеф с несколькими мягкими подводными валами.

Анализируя выработку профиля песчаного дна, мы уже не можем рассматривать движение одной песчинки. Волны заставляют взвешиваться и оседать целый слой грунта. При этом пути отдельных песчинок могут очень сильно отличаться друг от друга. Здесь уже действует закон перемещения не отдельных частиц, а их масс; профиль песчаного дна теснейшим образом связан с общим переносом воды и, конечно, с интенсивностью волновых колебаний. В целом этот процесс подчиняется статистическим закономерностям.

В простейшей схеме можно изобразить движение группы песчинок за время полного волнового колебания (рис. 16). В зависимости от того, сколь высоко в толщу воды и в какой именно момент была взвешена данная песчинка, она может пройти не только различное расстояние от исходного положения, но и оказаться перемещенной в одном из двух противоположных направлений. Общее перемещение масс песка и соответствующие изменения профиля дна определяются, таким образом, суммой про-

изведений масс отдельных частичек на величины путей, пройденных ими в прямом и обратном направлениях.

Если представить себе, что кроме чисто волновых колебаний воды над песчаным дном существует еще и общий ее перенос в виде течения, направленного к берегу или от него, то все изображенные на рис. 16 траектории сместятся в одну какую-нибудь сторону. Самый мелкий песок во время волнения оседает лишь на очень короткие моменты; поэтому общее перемещение воды будет определять ход размыва или отложения материала на данном участке дна.

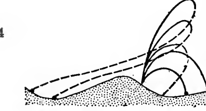


Рис. 16. Траектория движения группы песчинок, поднятых волной в толщу воды

Допустим, что преобладает донный отток и песок стал уноситься от берега. Значит ли это, что дно будет здесь безгранично размываться, а берег отступать? Нет, такое предположение оказалось бы неверным. По мере понижения поверхности дна (т. е. увеличения глубины) меняется характер волны и степень ее асимметрии. Нагон воды, а следовательно, и донный отток ослабевают, поэтому мощные толчки волновых колебаний, направленные к берегу, уравновесят тенденцию уноса материала на глубину. Наступит равновесие, хотя его природа будет совсем иной, чем у галечного профиля.

На участке с крупным песком каждое зернышко наноса будет часть своего пути катиться по дну, а часть проходить во взвешенном состоянии. В итоге обе закономерности выработки профиля равновесия будут проявляться одновременно и кривая дна займет какую-то промежуточную форму, свойственную волнению данной силы.

Поскольку характер волнения в море меняется очень часто, то и рельеф подводного склона не остается постоянным.

Профиль дна принимает иные уклоны, причем каждый раз его изменение сопровождается то размывом, то нарастанием берега (с соответствующими изменениями пляжа). Следовательно, можно говорить лишь о какой-то средней кривой профиля дна, отражающей среднюю силу штормового волнения.

Все описанные изменения могут происходить беспрепятственно лишь там, где берег и дно состоят из одних рыхлых пород. Гораздо чаще береговая линия очерчивает коренные массивы суши. На их погруженном под воду основании волны ведут ту же работу по перемещению и истиранию наносов. Однако для этой работы создаются другие условия.

Предположим, что море затопило относительно крутую поверхность коренной породы. Со склона горы в воду осыпаются обломки выветривающегося камня, часть рыхлого материала сюда вносят дождевые потоки, часть попадает вместе с речными водами. Волны начинают сортировать и перемещать все эти продукты разрушения суши, перекатывая их по дну. Попав на крутую поверхность, почти вся масса новых наносов под влиянием силы тяжести перемещается вниз, на глубину, где волновые колебания постепенно затухают. У берега могут остаться только самые крупные обломки: валуны, глыбы, образующие «циклопические» пляжи. В сильный шторм волны перекатывают эти обломки, раздробляют их и тем самым стачивают коренные породы, заставляя отступать берег.

Между таким пляжевым накоплением и зоной залегания основной массы более тонких наносов остается обнаженная наклонная площадка бенча шириной в сотни метров, а то и в километры. Такой берег называется приглубым. Бенч также испытывает разрушение, но несравненно более медленное, чем подножие клифа.

Совсем иначе вырабатывается профиль дна, если в море погружается плоская суша, как это, в частности, происходит в районе Евпатории. Там, к западу от города, поверхность степи образована слоями известняка, которые уходят под уровень моря с уклоном лишь в несколько тысячных. Дно из коренных пород оказывается здесь значительно более пологим, чем кривая профиля равновесия, выработанного в песке с примесью раздробленной ракушки. При возвратно-поступательных волновых колебаниях этот материал постепенно перемещается к берегу и откладывается вблизи уреза воды, формируя очень широкий пляж и закрывая прибрежную часть подводного склона.

Начиная с глубины в 3—4 м дно здесь начисто вылизано волнами. Спустившись туда с водолазным аппаратом, можно увидеть на поверхности известняка неправильные плоские углубления — результат растворяющего действия воды — и редкие пучки водорослей. Кое-где селятся колонии сидячих ракушек мидий, прочно прирастающих

к камню. После отмирания моллюсков створки их, точно так же как и весь первичный рыхлый покров, оказываются сметенными к берегу. Они также входят в состав наносов, и лишь на глубинах более 20 м, куда очень редко достигают волны самых сильных штормов, снова появляются рыхлые отложения; здесь покоится самый мелкий илистый материал, который отлагается в условиях затишья. На иле живет уже другая ракушка (рода *Tapes*, *Pecten* и др.). В сильные штормы ее створки также иногда выбрасываются на плоский бенч и совершают по нему путь в несколько

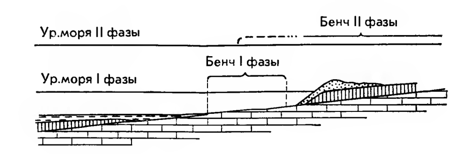


Рис. 17. Выработка профиля отмелого берега при трансгрессии моря на плоскую сушу:

километров в сторону берега (тогда мы их обнаруживаем на пляже).

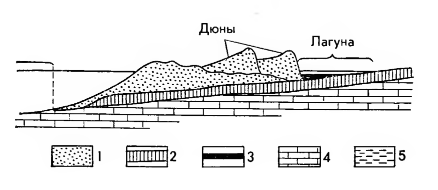
Таков тип профиля аккумулятивных, или отмелых, берегов. Бенч здесь расположен в основании берегового склона, а верхняя его часть занята толщей наносов. Эта толща надежно защищает от размыва коренную породу.

Когда в 1945 г. мы исследовали отмелый евпаторийский берег, нам очень хотелось выяснить, к чему же приведет процесс накопления прибрежных наносов, если повышение уровня моря будет продолжаться бесконечно долгое время?

Затапливая сушу, море перерабатывает весь залегающий на ее поверхности рыхлый материал; в данном случае это образующие степную почву покровные суглинки и супеси. Мелкозем уносится на большие морские глубины и

отлагается там в виде ила, а крупные песчаные частицы входят в состав пляжевых наносов.

По мере повышения уровня (трансгрессии) их количество будет все увеличиваться за счет перемыва новых и новых слоев почвы. Кроме того, к этим наносам прибавится и морской материал (ракушка). Следовательно, пляж будет расширяться и постепенно его подножие уйдет на дно, хотя основная масса наносов будет выбрасываться на прилегающую поверхность коренной суши (рис. 17). Если на суше было много песчаного материала, то при



1 — песок; 2 — суглинистые наземные отложения; 3 — илы лагунные; 4 — коренные породы; 5 — илы открытого моря

каждом замедлении трансгрессии море будет продолжать выбрасывать со дна наносы, которые сформируют надводную террасу шириной иногда в сотни метров. Ветер может нагромоздить на террасе высокие дюны; возникает мощный песчаный вал — своеобразный барьер, временно защищающий сушу от натиска моря. На дне наносный чехол расположится по профилю равновесия и постепенно закроет весь подводный склон, так что зона бенча вообще исчезнет. При дальнейшем развитии процесса на дне будет оставаться сплошной наносный покров и лишь часть переработанного морем рыхлого материала будет нагромождаться на погружаемую поверхность равнины.

Но почему же тогда мы увидели совсем другую картину на евпаторийском участке берега? Как уже говорилось, кроме поперечного перемещения наносов, происходит еще и продольное, и оно вызывается волнами, подходящими

под острым углом к берегу. На западе, в 30 км от Евпаторийского мыса, расположена мощная пересыпь, отгораживающая от моря Донузлавское соленое озеро. Объем пересыпи из пляжевого материала составляет около 400 млн. куб. км. Это все те же створки ракушек и обломочки известняка. Таким образом, на пути продольных миграций наносы встретили депрессию рельефа (глубиной до 30 м) и остались в ней навсегда. Образовался как бы подводный склад наносов, собранных с очень большого участка берега. На остальном же протяжении по-прежнему перемываются почвенные слои и любой крупный наносный материал выбрасывается со дна к берегу. Не будь

на пути наносов такой депрессии, в результате перемыва отложений суши все прибрежье (пляж и подводный склон) стало бы чисто аккумулятивным и бенча мы там нигде не обнаружили бы.

При дальнейших исследованиях на том же Черном и на других морях мы нашли массу подобных примеров. Погруженная плоская суша везде бывает окаймлена широкой и мощной полосой наносов. Такая наносная полоса, иногда прижатая к берегу, а иногда отделенная от него лагуной, прекрасно выражена на западе, между Дунайской дельтой и Днестровским лиманом, на Камчатке, в Печорском районе Баренцева моря и во многих других местах. Ширина активного берегового бара, который не потерял способности передвигаться, обычно не превышает 200 м. Если к берегу выбрасывается очень много наносов, то бар нарастает спереди и становится таким широким, что волны перестают через него переливаться.

Для того чтобы исследовать внутреннюю структуру волны и научиться описывать ее количественно, в отделе электроники Института океанологии Н. В. Вершинским была сконструирована серия специальных приборов (датчиков). Простейший из них основан на тензометрическом принципе. Круглая металлическая пластинка величиной с двадцатикопеечную монету укреплена на конце тонкого стержня, в котором вмонтированы тензометры — узенькие полоски металла, меняющего свое электрическое сопротивление при изгибе. Пластинка прикреплена к массивной станине с вертикальной стойкой. Станину помещают на дно и располагают пластинку датчика на нужной высоте перпендикулярно направлению волновых колебаний. При прохождении каждой волны в результате давления воды стерженек с тензометрами будет изгибаться то в одну сторону, то в другую, пропорционально скорости течения.

От прибора к берегу тянется подводный кабель. Ток проходит через специальные усилители, и все его колебания фиксируются осциллографом на светочувствительной бумаге в виде тонкой линии. Проявив эту ленту, мы получаем характерную кривую изменения интенсивности тока во времени. На той же бумаге одновременно рисуется линия нулевого давления. Она позволяет вычислять волновые скорости, направленные к берегу и к морю в любой момент времени, а также их общую длительность.

Кроме тензометрических впоследствии были разработа-

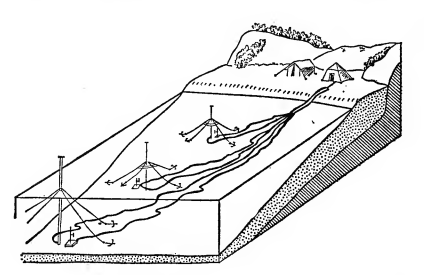


Рис. 18. Схема расположения приборов-самописцев при стационарных наблюдениях за волнением

ны индукционные приборы, которые фиксируют непосредственно скорость течения, проходящего между двумя электродами. От этой скорости зависит электрическое сопротивление слоя воды.

Для получения общей картины кинематики взволнованной толщи воды нужно было проводить большие серии наблюдений, работая одновременно с несколькими приборами. Кроме того, приходилось записывать в тех же точках параметры поверхностной волны (рис. 18). Для этого был сконструирован так называемый струнный волнограф.

Волнограф тоже новый и интересный прибор. Он представляет собой длинную рейку, укрепленную в море якорями и растяжками в вертикальном положении. Вдоль рейки натянуты два провода из сплава с большим электрическим сопротивлением (нихром). Низ рейки не выходит из воды даже при прохождении ложбин самых крупных волн, а верх рейки гребнями волн не заливается. Электроток подается в нихромовую проволоку сверху. При волнении колеблющийся уровень воды замыкает контакт на разных участках длины проволок и тем самым меняет силу тока. Последняя велика в момент прохождения гребня волны и мала, когда рейка попадает в ложбину. Эти колебания записываются на берегу через осциллограф, и мы получаем на ленте точную запись формы волны.

Работы по прибрежной гидродинамике в течение нескольких лет проводились на различных галечных и песчаных участках Черноморского побережья. При этом участки выбирались с различным профилем дна. Каждый раз стационарный пункт организуется на несколько месяцев во второй половине лета. Исследователи стараются захватить частые осенние штормы. На берегу располагается лагерь. Центром всей жизни является палатка с приборами, которая ставится у самой воды на сваях, чтобы ее не залило во время сильного шторма и нагона. Из этой палатки в воду уходит целый пучок кабелей, по одному к каждому прибору. Извиваясь, точно черные змеи, они путаются под ногами и мешают ходить.

Много хлопот доставляло В. Лонгинову это сложное хозяйство. Месяцы работы на берегу — это почти непрерывный ремонт то одного, то другого агрегата. И не потому, что они плохо сделаны или были оставлены без присмотра, а просто в силу свойств самой стихии.

Стихия не жалует исследователей. На движущейся гальке резина постоянно перетирается. Приходится доставать старые железнодорожные рельсы и в прибойной зоне крепить кабели к ним. Кроме того, на дне во время волнения смещаются и постепенно зарываются в грунт приборы, а иногда сдает еще и изоляция. Водолазам приходится повседневно осматривать все установки. Корродируется проволока на волнографах, от постоянной сырости начинают капризничать осциллографы, «садятся» аккумуляторы, а мотор вдруг перестает заводиться...

Короче говоря, нужно ловить моменты, когда все хозяйство исправно работает, и пускать его в ход буквально на считанные минуты. В минуту проходит больше десятка волн, и записать их совсем недолго. Но потом прихо-

дится ждать изменения погоды: для новой серии нужны волны с другими параметрами.

Каждая серия наблюдений — это десяток осциллограмм. На каждой кривой нужно тщательно измерить и просчитать ее малейшие изгибы и вывести зависимости всех наблюдаемых изменений. Этим приходится заниматься уже в институте, но за одну зиму лаборанты едва успевают выполнить целиком даже первичную обработку.

Можно представить, сколь трудна была задача обобщить все проведенные записи и наблюдения и представить их в форме четких закономерностей. Ведь каждый шторм обладал своими неповторимыми особенностями. Приборы стояли на разных глубинах, причем датчики мы закрепляли на разной высоте над дном. Менялись параметры волн, сила течений, крупность наносов. И тем не менее такая задача В. Лонгиновым была выполнена.

Для сопоставления записей и анализа он использовал безразмерную величину, так называемую относительную высоту волны. Это всего лишь отношение абсолютной высоты волны к глубине данной точки акватории, для простоты вычислений умноженное на сто $\left(h_r \frac{h}{H} - \cdot 100\right)$. Эти величины в условиях опытов менялись от 10 до 60. Далее для разных относительных высот были выведены средние величины асимметрий как формы поверхностной волны (записи волнографов), так и ее внутренних свойств (записи придонных самописцев).

Эти сводные кривые изображены на рис. 19. Левый пучок (сплошные линии) относится к приглубому галечному берегу, а правый (штрихи) — к отмелому песчаному. Мы видим, например (кривые), что на мелководье гребень волны всегда короче ложбины, и эта асимметрия внешней формы волны особенно ярко выражена у отмелых (песчаных) берегов. Вообще заметная деформация начинается при относительной высоте волны несколько менее 10.

Наблюдения на приглубом берегу, где крайний самописец стоял на глубине 6 м, охватили практически всю зону деформации вплоть до момента разбивания (относительная высота — около 25). На отмелых берегах деформация начинается слишком далеко от берега (более километра), и у нас не было технической возможности располагать там приборы. К тому же на таком расстоянии очень велики были бы потери тока, а помехи в кабелях не позволяли получить хорошие записи. В настоящее время последнее затруднение преодолено, и при аналогичных работах на озере Байкал А. К. Куклина используются при-



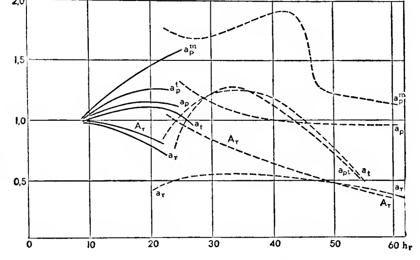


Рис. 19. Кривые асимметрии волновых движений (сплошные линии — у приглубого берега; штриховые линии — у отмелого (по В. Лонгинову); по горизонтальной оси — относительная высота волны; по вертикальной — индексы асимметрий)

боры, автоматически передающие по радио свои записи на берег. Но у нас их тогда не было, и мы смогли охватить наблюдениями лишь прибрежную часть отмелого подводного склона. На рисунке видно, что кривые асимметрий у отмелых берегов дают очень широкий веер. Это указывает на сильнейшее искажение правильного волнового движения.

Какие же элементы асимметрии придонных волновых колебаний удалось нам зафиксировать? Прежде всего это асимметрии длительности тока воды в сторону берега и обратно (a_t). У приглубых берегов a_t всегда больше единицы (т. е. направлена в сторону берега по всей длине пробега волны над подводным береговым склоном). У отмелого берега лишь на среднем участке склона, где деформация проявляется наиболее бурно, ток воды к берегу занимает больше времени. Верхний и нижний отрезки склона дают обратную картину, очевидно, в связи с действием донного оттока.

Характерны кривые асимметрии средних (a_p) и максимальных (a_p^m) волновых давлений, которые легко пере-

считываются на скорость. Обе эти величины у приглубого берега всегда больше единицы. У отмелого берега асимметрия очень велика, но, оставаясь больше единицы, она резко падает в зоне бурунов, особенно над подводными валами. Зато средние давления (a_p) на всем прибрежном участке направлены в сторону моря. Дальнейший анализ позволил и определить общий перенос воды у дна в каждой точке, где стоял прибор, и подсчитать энергию волновых движений.

Я остановился довольно подробно на описании собранных данных не только потому, что они были получены впервые в мире. Мне хотелось еще раз подчеркнуть правомочность дедуктивного метода анализа. Ведь все эти закономерности были предсказаны задолго до появления наших чудесных приборов. Достаточно было немногих надежных фактов, подмеченных еще П. Корнальей, чтобы на их основании построить целую теорию, а потом видоизменять ее и вносить дополнения. Теоретические положения советских ученых удалось подтвердить полученными впервые природными данными.

Итак, мы располагаем новым количественным материалом. Естественно поставить обратную задачу: отчего, собственно, зависит сам процесс деформации волны и как он протекает? Известно, что на мелководье скорость движения волны уменьшается, причем уменьшается сильнее у ложбины волны, чем у ее гребня. Гребни начинают как бы обгонять ложбины, становясь при этом все круче. Высота волны в ходе деформации иногда возрастает, а иногда падает. Когда гребень становится чрезмерно крутым, он обрушивается. Глубина обрушения соответствует примерно полутора высотам волны открытого моря. Однако она колеблется в небольших пределах в зависимости от крутизны исходных волн, состава дна, действия ветра и других условий.

Сопоставление множества записей, сделанных на различных уклонах дна и при разном составе наносов, позволило В. Лонгинову выявить важную зависимость нарастания асимметрий и разрушения волны от так называемого фактора деформации. Этим термином он обозначает отношение тангенса наклона данного отрезка дна (на протяжении, меньшем длины волны) к его средней глубине (H), умноженное на сто $\left(F_d = \frac{j}{H} \cdot 100\right)$.

Оказалось, что при высоком F_d (более 1,3) расстояние, на котором происходит вся деформация вплоть до полного обрушения, составляет менее одной длины волны. Процесс

идет очень бурно с нарастанием абсолютной и относительной высоты волн и их удельной энергии. Волна становится иногда вдвое выше, чем в открытом море, и разрушается в виде короткого мощного обрушения. На аккумулятивных берегах высокий F_d может наблюдаться только на галечном дне, так как уклоны дна в прибрежье должны для этого быть выше 0,03. Энергия, возрастающая на мелководье, заставляет гальку кататься по дну. При этом скорости и траектории движения гальки тем больше, чем ближе к берегу расположена рассматриваемая точка.

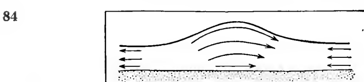


Рис. 20. Схема строения одиночной волны

Могучий прибой можно наблюдать на Южном береге Крыма, где дно повсеместно очень приглубо. Море там выбрасывает на берег обломки скал и буквально на глазах дробит подножие коренных обрывов.

Совсем иной тип деформации у малых уклонов песчаного дна (менее 0,01), где величина F_d составляет менее 0,7. Волна там медленно и постепенно перестраивается и образует несколько рядов бурунов. При малых значениях F_d на пути пробега волны постепенно падают ее абсолютная высота и удельная энергия. Относительная высота при F_d, равная 0,7, сохраняется постоянной на всех глубинах. При меньших F_d она также падает. Асимметрии достигают наибольших возможных значений. На мелководье волна трансформируется в совершенно иной тип движений, так называемую одиночную волну, которая состоит из гребня (без ложбины) (рис. 20). Под гребнем одиночной волны скорости и амплитуды движения частиц воды остаются одинаковыми на всех глубинах. Серия гребней одиночных волн разделена широкими полосами ровной воды, которая медленно стекает в море. Однако в открытом море буруны представляют немалую опасность для пловцов, а также для рыбачьих судов, препятствуя их выходу на промысел или возвращению домой. Если F_d

выдерживается в пределах 0,7—1,3, то тип разрушения является промежуточным. При величине F_d=1,3 абсолютная высота волны на всей длине пробега остается постоянной, а при меньших — падает. Относительная высота волны нарастает, а ее удельная энергия сохраняется почти одинаковой. Соответствующие уклоны дна лежат в пределах 0,02—0,03, они характерны для профилей гравийного или крупнопесчаного дна.

Поскольку мы иллюстрируем описываемые закономерности примерами берегов Черного моря, то отметим, что «промежуточный» тип разрушения волн свойствен району Туапсе — Сочи; там у самого берега, начиная с глубин 1—2 м, залегает гравий, а дальше тянется бенч с уклоном 0,02—0,03.

Теперь вы понимаете, что фактор деформации не остается одинаковым на всех глубинах подводного склона. Однако теоретически можно построить кривую склона и для постоянного F_d. В этом случае профиль дна не будет представлять собой прямую линию, а даст слегка выпуклую вверх кривую. В природе такие профили встречаются на мелкопесчаном дне, где происходит равномерное разрушение волны. На дне, состоящем из более грубых наносов, кривая профиля напоминает вогнутую вверх параболу с крутым отрезком у самого берега. В связи с повышением удельной энергии волны подвижность наносов на малых глубинах резко возрастает. В том же направлении, но более быстро возрастает и F_d. Важно, что при увеличении размеров волн характер их деформации изменяется на одном и том же профиле. Мелкие волны разрушаются у самого пляжа при очень высоком F_d, а крупная зыбь может начать деформироваться по «отмелому» типу далеко от берега, где F_d является низким. В этом случае буруны в море можно увидеть даже у приглубых берегов Южного Крыма.

Не знаю, удалось ли мне раскрыть перед читателем всю сложность картины морского прибоя и показать сущность выполненного теоретического анализа: ведь в стройную систему взаимодействия движущейся воды и грунта укладывается множество факторов и влияний. Здесь проявляется то самое взаимодействие, которое, по словам Ф. Энгельса, «исключает всякое абсолютно первичное и абсолютно вторичное, но вместе с тем оно есть... двусторонний процесс...» *. В самом деле, на первичном откосе направ-

---

* *Ф. Энгельс*. Диалектика природы.— *К. Маркс* и *Ф. Энгельс*. Соч., т. 20, стр. 483.

ление и интенсивность перемещения рыхлых масс грунта определяет волна. Но вот эта сложная система пришла в движение — причины и следствия постепенно меняются местами. Состав наносов начинает определять новые углы наклона и профиль дна, и волна теперь должна приспосабливаться к физическим свойствам твердого материала. От них начинает зависеть характер ее деформации, и в конечном счете, добегая до берега, волна делается совсем иной, чем была на больших глубинах.

Теперь вернемся к практическим задачам, поставленным перед нами П. П. Ширшовым. Сумели ли мы выведать у моря один из его главных секретов? Можем ли рассчи-

тать и предсказать, как будет перестраиваться профиль дна при волнении и куда пойдут наносы? Вообще-то секретов моря удалось раскрыть немало, однако этот оказался одним из самых трудных. Нам удалось наметить теоретическую схему, но полученные результаты могут быть использованы лишь после длительной проверки. Над ней-то мы сейчас и работаем.

За период каждой волны осциллограмма придонных давлений показывает, что сначала они возрастают от нуля до максимальных значений, а потом снова падают до нуля. В этот момент происходит смена направления движения, картина повторяется, но уже с другими абсолютными величинами. Нам известны скорости течения, при которых частица наноса любой величины приходит в движение и останавливается. Отныне мы можем подсчитывать для частиц любой крупности общее время движения в сторону берега и обратно, как при прохождении одной волны, так и для целого ряда последовательных волн (это необходимо для получения средних величин). Разность времени движения частицы в одну и в другую сторону дает условный * импульс ее перемещения. Такой импульс, подсчитанный для серии волн, называется суммарным.

По одной и той же записи мы можем определить импульсы для частиц разных крупностей и узнать, какой материал на этом участке перемещается к берегу, а какой — к морю (рис. 21), и если теперь взять записи, сделанные одновременно в нескольких точках профиля дна, то получится общая схематическая картина поперечного перемещения наносов на значительной части подводного склона.

* Условным он остается до тех пор, пока мы не научимся выражать в метрах пути частиц иноса различных размеров при данном графнке волновых скоростей. Это дело блнжайшего будущего.

Работы В. Лонгинова показали, что запись формы поверхностной волны при любой ее относительной высоте является надежным показателем асимметрии придонных волновых колебаний. Мы можем их приблизительно рассчитать по волнограмме, не производя кропотливых и длительных подводных замеров. Следовательно, точные наблюдения только поверхностной волны уже позволяют получить данные о поперечном перемещении донных наносов в любую фазу шторма.

Там, где изменения профиля дна имеют практическое значение (вблизи портов или берегоукрепительных сооружений), состав наносов бывает обычно известен. В таких местах по характеру волнения мы можем предсказывать интенсивность перемещения наносного материала разной крупности по профилю и прогнозировать перестройку дна. Можем, хотя для этого еще нужно получить коэффициенты, позволяющие перейти от условных импульсов к абсолютным величинам (они выражаются в тоннах или кубометрах на каждый метр берега и в единицу времени). И вот получают-то их пока лишь эмпирическим, т. е. опытным, путем. Мы далеко еще не знаем всех законов движения частиц наносов в толще воды и по поверхности дна. Работа начата, но, чтобы достичь названных результатов, предстоит еще не один год кропотливого труда.

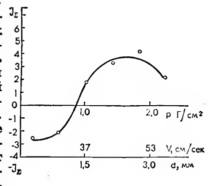


Рис. 21. Типичная кривая распределения условных суммарных импульсов (величины по вертикальной оси) в одной точке для наносов разных крупностей (на горизонтальной оси — величины давлений p; внизу они пересчитаны в скорости волновых движений воды v и в соответствующие диаметры частиц наносов d, начинающих движение при данной скорости)

При дальнейших исследованиях мы, несомненно, установим еще более строгие и полные связи между величиной фактора деформации и ходом перестройки морских волн. Сам по себе фактор деформации рассчитать элементарно просто. Для этого нужно выполнить обычный промер морского дна в интересующем нас месте.

Я могу представить такую картину. В институт приходит письмо от проектной организации с просьбой дать

прогноз динамики взморья на участке строительства будущего порта. К нему приложен план с нанесенными изобатами и составом наносов. Один из помощников В. Лонгинова набрасывает схему хода анализа и дает лаборантам просчитать различные элементы. Один из лаборантов с помощью обычной логарифмической линейки подсчитывает факторы деформации для различных глубин. Другой, уже на счетной машине, определяет, как будет перестраиваться на подходе к берегу волна различных исходных параметров, а третий чертит графики условных суммарных импульсов для разных крупностей наносов. Затем вводятся поправки на ветер, на продольное перемещение наносов, на изменения уровня и др.

В итоге через несколько дней готов ответ. В нем колонки цифр и заключение: «При таких-то волнах объем заносимости канала составит N кубометров в сутки, при таких-то — больше или меньше и на сколько именно...» Останется лишь взять данные по гидрометеорологическому режиму района и просчитать, во сколько обойдется борьба с заносимостью и как удобнее эту борьбу осуществить...

И это не фантазия. Это дело ближайших лет, если за него хорошенько взяться.

Льды Арктики

Как льды образуются

Ледяной покров морей северного полушария в момент своего наибольшего развития занимает огромную площадь — около 11 млн. кв. км. Ежегодно в течение лета общее количество льдов уменьшается приблизительно на одну треть. Льды в Центральном Арктическом бассейне занимают площадь около 5 млн. кв. км. Эта площадь никогда не освобождается ото льдов.

Льды по своему происхождению и по своим свойствам резко разделяются на речные, глетчерные и морские.

Речные льды отличаются коричневатым цветом, загрязненностью и встречаются недалеко от устьев рек. Эти льды растаивают в течение полярного лета и не имеют особого значения в море.

Глетчерные льды, плавающие в виде айсбергов, образуются в результате облома спускающихся в море концов ледников.

Основную массу льдов Северного Ледовитого океана составляют беловато-зеленоватые морские льды, образующиеся из самой морской воды.

Весьма интересным свойством морского льда является то, что он в среднем приблизительно в 4 раза менее солон, чем вода, из которой он образовался.

Другим удивительным свойством морских льдов является то, что с течением времени они постепенно преснеют и в конце концов становятся годными для приготовления пищи. Эти свойства морских льдов объясняются их строением.

Льдообразование в море начинается с появления тонких ледяных игл — кристаллов чистого льда, сплетающихся в причудливую сетку. С течением времени кристаллы эти увеличиваются, а растворенные соли, всякие примеси органического и неорганического происхождения и пузырьки воздуха, находящиеся в морской воде, сосредоточиваются в промежутках между кристаллами.

Таким образом, морской лед после своего образования состоит из кристаллов чистого льда, между которыми вкраплены ячейки с рассолом и пузырьки с воздухом.

Изменения температуры морского льда в течение его жизни влекут за собой изменения объема ячеек с рассолом. Так, при понижении температуры выделение добавочных кристаллов льда влечет за собой увеличение объема и, как следствие, разрыв, создание мельчайших трещин, по которым рассол ячеек постепенно стекает вниз, чем вызывается опреснение льда.

Замечено, что соленость нового льда тем выше, чем ниже температура воздуха и чем скорее, следовательно, идет

льдообразование. При очень низких температурах воздуха рассол не только не успевает стечь вниз, но даже выдавливается на поверхность льда. Вследствие этого поверхность льда, образовавшегося при очень низких температурах, всегда представляется несколько влажной от рассола. При еще более низких температурах поверхность льда покрывается удивительно красивыми так называемыми ледяными цветами. Ледяные цветы представляют собой тончайшие кристаллы соли, сидящие на концах кристаллов льда. Это явление временами настолько ярко выражено, что многие исследователи отмечают большую трудность санных экспедиций по морскому льду, образовавшемуся при низких температурах. Сани не скользят по такому льду, они тормозятся, как бы двигаясь по песку.

Льдообразование в море не всегда начинается на его поверхности. Если воды охлаждаемого моря сильно перемешиваются ветром, водой или сильными течениями, то образование льда может начаться в самой толще воды или даже у самого дна. При этом вода сначала как бы мутнеет. Это явление так и называется — ледяной туман. Затем образующиеся на глубине частицы льда не всплывают сразу на поверхность моря, а вихрями переносятся с места на место. В дальнейшем частицы глубинного льда, представляющие собой строго круглые диски с зеркальными боковыми поверхностями, увеличиваются в размерах, смерзаются и в конце концов поднимаются на поверхность моря.

Образование глубинного и донного льда в море, так же как и в реках, требует низких температур воздуха, сильного перемешивания воды течениями или ветром и отсутствия льда на поверхности моря. Как только море затягивается поверхностным или всплывшим глубинным льдом, образование глубинного и донного льда в большинстве случаев прекращается.

Из истории мореплавания известны случаи, когда в Балтике в начале зимы мореплаватели оказывались окруженными со всех сторон льдом, внезапно поднявшимся с глубин моря. Известно также, что донный лед у скалистых берегов Гренландии, Лабрадора и Шпицбергена часто поднимает с собой на поверхность моря обломки камней и грунта. У Ньюфаундленда донный лед встречается на глубинах 20—30 м. У берегов Лабрадора однажды на поверхность моря был вынесен донным льдом ящик с инструментами. Этот ящик оказался принадлежащим судну, погибшему много лет назад в Гудзоновом проливе, в нескольких стах километров к северу от места находки.

Иногда в море начальная корка льда образуется из выпадающего на поверхность моря снега. Такой лед имеет особенное строение, отличается своим белым цветом и носит название «снежура».

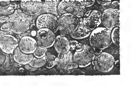


Рис. 22. Диски глубинного льда

Как мы видели, при спокойном состоянии моря и отсутствии ветра на поверхности моря образуются мелкие кристаллы в виде ледяных игл. Эти первичные образования постепенно разрастаются, срастаются и образуют на поверхности моря пятна налета. По виду эти пятна напоминают застывающее сало и называются ледяным салом, а чаще просто салом. Сало имеет обычно темно-свинцовый цвет, мало отличающийся от цвета воды в облачную погоду, и по виду напоминает мелко истертый лед.

Странное впечатление производит море, покрытое ледяным салом. Морская вода кажется тяжелой, как ртуть. Так как обычно льдообразование начинается отдельными, более или менее редкими пятнами, то поверхность моря, покрытого салом, приобретает вид муара.

При дальнейшем охлаждении и совершенно спокойном состоянии моря вся его поверхность, особенно если поверхностный слой очень тонок и почти распреснен, покрывается тонкой блестящей коркой льда — склянкой. Когда корабль идет по такой склянке, слышен очень характерный звук, производимый отламывающимися и далеко разлетающимися льдинками, напоминающий звон бьющегося стекла.

Иначе происходит начальное льдообразование при слегка неспокойном море. Тогда оно начинается как бы из многих центров, и при этом образуются диски почти правильной

формы диаметром до 30—50 см и более. Эти диски окаймлены небольшими валиками, получающимися в результате трения их один о другой. Валики придают дискам вид плоских сковородок. На всех языках такой лед называется блинчатым или тарелочным льдом.

Валики больше возвышаются над водой, чем диски, и цвет их поэтому белее. Море, покрытое молодым блинчатым льдом, представляется как бы покрытым белой сеткой.

После того как поверхность моря покроется тонким слоем льда, дальнейшее увеличение толщины льда идет тем быстрее, чем ниже температура воздуха, и тем медленнее, чем больше толщина образовавшегося льда. Считается, что в условиях Арктического бассейна толщина льда, образованного естественным нарастанием снизу за один год, не превышает 2—3 м. Большая толщина льдов получается в результате торошения льдов, нагромождения льдин друг на друга. Полярники так и различают ледяные поля — поля нарастания и поля нагромождения.



Рис. 23. Ледяная склянка

По своему расположению морские льды делятся на припай, плавучие и паковые льды. Припай занимает в Арктическом бассейне в зимнее время 15—20 % всей площади льдов. На долю плавучих льдов приходится 10—15 %. Остальную же площадь, т. е. около 70 % льдов, занимают также находящиеся в постоянном движении паковые льды. Они заполняют центральную часть Арктического бассейна и окаймлены по периферии сначала плавучими льдами, а ближе к берегу — в зимнее время — припаем.

Припай представляет собой неподвижный лед, образующийся зимой у берегов и к концу зимы достигающий около 2 м толщины. В летнее время припай частью растаивает на месте, частью разламывается и уносится в море.

Считается, что припай в зимнее время распространяется от берега до 25-метровой глубины. Наибольшего своего развития припай достигает у берегов Сибири, на долготах устья Яны, где он простирается от берега на север почти на 400 км. Это объясняется мелководностью приле-

гающего района и наличием большого количества островов. Этот район мы так и называем — припайный район.

Плавучие льды, как показывает само их название, и летом и зимой находятся в постоянном движении, частью уничтожаясь в течение лета, частью переживая лето и вмерзая во вновь образующиеся льды.

Среди плавучих льдов встречаются льды самого разнообразного происхождения, разной формы и разного возраста. Считается, что область распространения плавучих льдов ограничивается, с одной стороны, 25-метровыми глубинами (ближе которых к берегу в зимнее время расположен припай), с другой стороны, приблизительно границей между мелким и глубоким морем, т. е. 1000-метровыми глубинами.

Паковые льды — это наиболее законченная форма морских льдов. Это большие поля сравнительно ровного льда толщиной 3—5 м, окаймленные торосами и пересеченные в некоторых местах ледяными грядами высотой до 8—10 м. Такие гряды являются результатом нагромождения льдов при их сжатии, и они указывают положение так называемых линий торошения. В отдельных районах паковые льды представляют настоящий хаос вздыбленных, нагроможденных друг на друга глыб льда, в расположении которых нельзя подметить никакой закономерности, — такие районы называются областями торошения.

Для образования паковых льдов, характерных своей однородностью и отсутствием посторонних примесей (солевых ячеек и пузырьков воздуха), необходимо несколько процессов: естественное нарастание льда, утолщение льда нагромождением льдин, изменение структуры льда, вызываемое периодическими изменениями температуры, уплотнение льда периодическими сжатиями и, наконец, выравнивание верхней и нижней поверхностей льдов.

Последний процесс начинается тогда, когда лед достигает такой толщины и мощности, что дальнейшее торошение затрудняется. Зимние вьюги, перенося снег с места на место, постепенно заполняют им отдельные впадины на поверхности льда. Полярное солнце, поднимающееся сравнительно невысоко над горизонтом, действует прежде всего и почти исключительно на всякие неровности, выступающие над поверхностью льда, растапливая и сглаживая их. Таким образом выравнивается верхняя поверхность паковых льдов.

Теоретически нижняя поверхность льдов должна быть гораздо более неровна, чем верхняя. Действительно, плотность чистого льда (лишенного всякого рода посторонних

примесей — солей, грязи, пузырьков воздуха) равна 0,9176. Вследствие разности плотностей льда и воды, в которой лед плавает, обычно только от $^1/_5$ до $^1/_7$ общей высоты ледяных полей выступает над поверхностью моря. Следовательно, под торосом высотой 5 м для его уравновешивания под нижней поверхностью ледяного поля должен быть выступ с углублением по крайней мере в 30 м.

Но как показывают наблюдения, температура нижней поверхности льдов весьма близка к температуре замерзания морской воды, а при таких температурах лед почти не обладает прочностью и малейшие усилия его разрушают. Вследствие этого подводные выступы торосов очень быстро распадаются на части; сам торос под влиянием своей собственной тяжести оседает; под ним создается новый подводный выступ, в свою очередь разрушающийся. Таким образом происходит одновременное выравнивание верхней и нижней поверхностей ледяных полей, особенно сильное в летнее время, но не прекращающееся даже зимой. Такое выравнивание ледяных полей называется изостатическим.

Хотя пространства чистой воды между отдельными полями пока крайне незначительны (даже к осени они составляют не более 1—2% площади), все же они позволяют некоторое движение полей даже в зимнее время.

Масса ледяного поля станции «Северный полюс»*, по скромному подсчету, была равна приблизительно 10 млн. т. Понятно, что если такое поле под влиянием ветра или течений приобретает некоторую скорость и наталкивается затем на берег или на другое ледяное поле, неподвижное или двигающееся с некоторой другой скоростью, то в точках соприкосновения взламывается лед огромной толщины вызывая грандиозное торошение.

Командир «Седова» Бадигин писал о зимнем торошении: «Трудно описать эти звуки: они напоминали то завывание ветра, то монотонный гул работающего мотора, то стоны какого-то неведомого зверя, то шум морского прибоя». С другой стороны, всех наблюдателей поражает удивительная тишина, сопровождающая летнее торошение, иногда более грандиозное по размерам, чем зимнее. Громадные монолиты льда откалываются, вздыбливаются и падают, не производя при этом шума, даже при полном отсутствии ветра.

Ужасный грохот и шум, сопровождающие торошение в зимнее время, и абсолютная тишина при летнем тороше-

* Здесь и далее имеется в виду станция СП-1 (папанинская). — *Ред.*

нии объясняются механическими свойствами льдов. Прочность льда в сильнейшей степени зависит от его температуры. При температуре ниже —9° прочность льда приблизительно равна прочности хорошо обожженного кирпича и при дальнейшем понижении температуры увеличивается мало. При повышении температуры льда до температуры таяния прочность его быстро падает, и при высоких температурах он превращается в кашеобразную массу.

Температура морских льдов все время меняется, причем температура нижней поверхности льда всегда постоянна и приблизительно равна температуре замерзания морской воды, т. е. —1,6;—1,8°, а температура верхней поверхности приблизительно следует за температурой воздуха и иногда спускается ниже —40°. В связи с этим размеры нижней поверхности ледяного поля всегда остаются одинаковыми, а размеры верхней поверхности то уменьшаются, то увеличиваются вследствие теплового расширения и сжатия. Например, верхняя поверхность льдины, на которой дрейфовала станция «Северный полюс», только под влиянием изменения температуры могла изменять свои верхние горизонтальные размеры в течение года на 1—2 м. Это изменение размеров, конечно, вызывает образование трещин, сопровождающееся в зимнее время звуками, напоминающими звонкие ружейные выстрелы. Такие звуки слышали все исследователи в Арктике; слышали их и зимовщики станции «Северный полюс», и седовцы, научившиеся за время пребывания на ледяном поле различать разнообразные звуки, в зимнее время наполняющие Арктический бассейн.

Как льды разрушаются

В течение зимы размеры отдельных льдин увеличиваются нарастанием, нагромождением и смерзанием с другими льдинами. Образуются ледяные поля громадных размеров, иногда взламываемые жестокими зимними штормами. Наибольшего развития по площади и толщине ледяной покров Арктики достигает приблизительно к маю, но значительно раньше начинается внутреннее таяние морских льдов, выражающееся прежде всего в ослаблении их прочности.

Это происходит потому, что, как мы видели, морской лед состоит из кристаллов чистого льда, окружающих ячейки с рассолом морской воды. Эти ячейки достигают наименьшей величины в тот момент, когда температура льда достигает своего минимума. Как только эта темпера-

тура начинает повышаться, размеры солевых ячеек увеличиваются, концентрация раствора в них соответственно уменьшается и лед начинает таять как бы изнутри.

Повышение температуры льда вызывается поглощением тепла из воздуха, из воды, окружающей льды, и поглощением солнечного тепла, после того как по окончании полярной ночи солнце начинает все больше и больше показываться над горизонтом.

Поглощение льдом солнечного тепла проходит, как уже отмечалось, с весьма интересными особенностями. Так как снежный покров является весьма совершенным отражателем, а вода, наоборот, весьма совершенным поглотителем солнечной энергии, то с наступлением весны и лета таяние льдов идет быстрее всего там, где чистой воды между льдами больше всего. Вода как бы впитывает в себя солнечное тепло и при соприкосновении со льдами передает его им, растапливая их.

На ледяных полях поглощение солнечного тепла сосредоточивается у темных частиц, встречающихся на поверхности льдов. Такие частицы на прибрежных льдах могут быть пылью берегового происхождения, занесенной на льды ветрами. На льдах открытого моря много частиц органического происхождения: мельчайших организмов, живых или мертвых, так или иначе вмерзших в лед.

Нансен обратил внимание на то, что, поскольку таяние многолетних льдов идет главным образом сверху, а намерзание — снизу, все посторонние примеси во льду постепенно поднимаются снизу вверх и в конце концов оказываются на поверхности льда. Эти частицы и являются центрами, около которых сосредоточиваются поглощение солнечного тепла и таяние льдов.

Замечательно, что в течение полярного лета присутствие во льду всякого рода темных частиц весьма сказывается на цвете ледяных полей.

Так, подмечено, что при установившейся пасмурной теплой погоде поверхность льдов представляется грязной и гладкой. В ясную и солнечную погоду темные частицы, находящиеся на поверхности льдов, поглощая солнечную радиацию, нагреваясь и протаивая под собой ямочки, опускаются на некоторую глубину под поверхность ледяных полей. Вследствие этого в такую погоду поверхность льдов становится ноздреватой и кажется белоснежной, как будто бы покрытой свежевыпавшим снегом.

Но как бы велика ни была отражательная способность снега, некоторая часть солнечного тепла снегом поглощается. В первую очередь действию солнечных лучей

подвергаются поверхностные снежинки, которые сплавляются в плотную массу, обладающую большой отражательной способностью. Снежная поверхность при этом становится ослепительно блестящей, что вызывает острое воспаление слизистой оболочки глаза, так называемую снежную слепоту.

Из-за сильного отражения горизонт в это время даже при безоблачном небе делается неясным, наблюдается сильная рефракция. Если небо при этом покрыто тонким слоем облаков, то вся атмосфера как бы наполняется особым серебристым светом, напоминающим свет, отраженный полированной серебряной пластинкой.

Несмотря на то что в арктических областях ранней весной температуры воздуха не поднимаются выше —10°, а иногда спускаются ниже —30°, на склонах льдин, обращенных к югу, появляются первые жидкие капли рассола и острые края льдин начинают оплавляться и округляться. При дальнейшем повышении температуры воздуха и подъеме солнца над горизонтом поверхностный слой снега пропитывается водой и его способность поглощать солнечное тепло увеличивается. Каждый раз в случае внезапного похолодания на поверхности снега образуется ледяная корка, играющая роль парникового стекла.

Благодаря этому эффекту происходит постепенное накопление тепла и повышение температуры во всей освещенной части льда. В толще льда это тепло поглощается в первую очередь не кристаллами льда, а посторонними включениями между ними. Этим объясняется, между прочим, тот факт, что образовавшийся в спокойной обстановке пруда лед при таянии принимает такой характерный сотообразный вид и что всякий лед, в том числе и морской, в момент окончательного разрушения распадается на отдельные иглы, представляющие собой остатки кристаллов.

С течением времени на поверхности льдов образуются сначала потемнения, а потом небольшие озерки талой снежной воды, называемые снежницами. Размеры снежниц увеличиваются даже при случайных заморозках благодаря защитному действию создающейся в таких случаях на их поверхности ледяной корки. Мне нередко приходилось наблюдать на льду озерки талой воды (с температурой выше +1°), покрытые сверху слоем льда толщиной до 10 см.

В чистом морском льду центрами поглощения солнечной энергии являются солевые ячейки. Объем их с течением времени и с повышением температуры постепенно увеличи-

вается, благодаря чему ускоряется нисходящее движение рассола и опреснение льда. Таким образом, под влиянием солнечной энергии и теплопроводности в морском льду происходят глубокие внутренние изменения. Вначале они мало сказываются на его внешней форме и размерах, но сильно уменьшают его прочность. Лед постепенно становится как бы гнилым, как говорят моряки.

Между тем озерки снежной воды на поверхности льда продолжают увеличиваться: то медленно — когда они покрываются во время заморозков льдом, то значительно быстрее — когда они остаются свободными ото льда. Снежная вода проникает в трещины, имеющиеся в морском льду, но, встречаясь со слоями льда, температура которых в это время еще значительно ниже температуры замерзания, эта вода замерзает, закупоривает трещины и преграждает стекание основной массы воды под лед.

Таким образом, первоначальное таяние снега на ледяном покрове приводит к появлению на льду озерков пресной воды, которые постепенно увеличиваются, соединяются друг с другом и в итоге придают поверхности тающего льда вид моря, покрытого мелким битым льдом. Из-под воды (толщина слоя которой в южных районах Арктического бассейна может доходить до 1 м и более) при этом виднеются только вершины торосов и глыб старого, многолетнего льда. Сходство весенних водоемов на льду со вскрывшимся морем еще более усиливается при ветре, покрывающем их поверхность рябью и легким волнением.

Образование пресных водоемов на морских льдах в течение полярного лета характерно не только для южных районов Северного Ледовитого океана, где эти водоемы издавна являются запасами пресной воды для мореплавателей. Например, во время плавания на «Садко» в 1935 г. в северо-западной части Баренцева моря мы брали по нескольку сот тонн пресной воды из одного озера на льду.

Во время дрейфа «Фрама» его команда нередко развлекалась катанием на байдарках под парусами в озерах, образовавшихся в течение лета на ледяных полях. Такие же озера наблюдали на своем ледяном поле и зимовщики станции «Северный полюс» и бывали вынуждены устраивать для них специальные водоотводы. Наибольшее из таких озер было размером 200×400 м при глубине до 2,5 м.

Естественно, что в наиболее глубокие места такого водоема постепенно смываются все посторонние примеси.

В этих выемках скопляется и развивается органическая жизнь. Благодаря темному цвету этих скоплений поглощение тепла здесь идет более интенсивно. Постепенно эти углубления доходят до уровня морской воды. Тогда вся масса снежной воды стремительным потоком стекает под лед, и в один-два дня поверхность льда высыхает и вылезает из-под воды. На поверхности льда остаются только водоемы, уровень воды которых или выше уровня моря (сквозных промоин нет, вода пресная), или на уровне моря (имеются сквозные промоины, вода соленая).

Поверхность льда после стока наледной воды представляется чрезвычайно неровной, изрытой промоинами и в то же время лишенной зимнего снежного покрова. Но с течением времени, особенно при установившейся ясной погоде, как уже указывалось, темные частицы, находящиеся на поверхности ледяных полей, нагреваясь солнечной радиацией, создают ноздреватость верхних слоев льда. Таким образом создается летний снежный покров ледяных полей.

Стекание пресной снежной воды под лед влечет за собой, как это было отмечено впервые Нансеном и проверено седовцами, еще одно весьма характерное явление, а именно образование под поверхностью морского льда добавочного слоя совершенно пресного льда. Этот подледный пресный лед образуется в результате соприкосновения стекающей пресной воды с морской водой, температура которой в это время около —1,8°. Так, по наблюдениям «Седова», в 1939 г. летом талая вода, уходя под лед и намерзая снизу, увеличивала толщину льда от 5 до 55 см.

Таяние льдов особенно усиливается после того, как температура воздуха поднимается выше —2°. Постепенно льды ослабляются настолько, что достаточно одного-двух штормов для разлома ледяных полей, еще недавно представлявшихся очень крепкими. Самое замечательное, что по внешней форме очень трудно сказать, в какой стадии разрушения находится данное ледяное поле. Морские льды тают как бы изнутри, и последней в них разрушается их форма. Как показывают наблюдения советских полярных станций, такие проливы, как, например, Маточкин Шар, Югорский Шар, вскрываются ото льда иногда при толщине ледяного покрова еще не менее 1 м.

При разломе ледяных полей в течение полярного лета под давлением штормов пространства чистой воды между льдами увеличиваются, и это создает для отдельных ледяных полей некоторую свободу движения. В море не встречается двух льдин, похожих друг на друга. Ветер,

постоянные и временные морские течения действуют на каждую льдину по-разному, заставляя их двигаться с разной скоростью и в разных направлениях. Из-за этого неизбежны частые столкновения, сопровождающиеся торошением и еще большим увеличением пространств чистой воды между льдинами. Чем больше чистой воды, чем сильнее движение отдельных льдин относительно друг друга, тем сильнее идет их таяние и разрушение.

Нагретые солнечным теплом поверхностные воды при соприкосновении со льдом охлаждаются, утяжеляются и благодаря этому опускаются на глубину. На их место подтекают новые воды; вследствие этого создаются постоянные токи теплой воды по направлению к льдине и на некоторой глубине — холодной по направлению от льдины. Таким образом, каждая льдина в море является как бы самодействующим насосом.

Подобный же круговорот тепла создается и в воздухе. Над открытой поверхностью моря идет испарение и охлаждение поверхностных слоев воды. При прохождении насыщенного влагой воздуха над холодной поверхностью льдов водяной пар конденсируется, и при этом тепло, отнятое при испарении от воды, выделяется. Эти процессы неизбежны при соприкосновении воды и льда. Конденсация паров воды надо льдом вызывает туманы, столь частые над полярными льдами в летнее время.

Предельная толщина льдов

Климатические особенности каждого района Арктического бассейна могут быть охарактеризованы самым различным образом. Но для познания режима льдов наибольший интерес представляют две характеристики, а именно:

1. Увеличение толщины льда (без нагромождений) в зимнее время.
2. Уменьшение толщины льда в летнее время.

Толщина многолетних льдов нарастания не может бесконечно увеличиваться. Если в каком-либо районе океана число градусо-дней мороза, т. е. сумма среднесуточных отрицательных температур воздуха, и величина летнего стаивания остаются из года в год постоянными, то толщина льдов, увеличивающаяся только намерзанием, стремится к некоторой вполне определенной величине, называемой предельной толщиной льдов нарастания.

Так, при 6 тыс. градусо-дней мороза и при уменьшении толщины льда за лето на 1 м толщина льдов нарастания не может превысить 265 см, но при том же числе градусо-дней мороза и при летнем стаивании, равном 20 см, предельная толщина льдов повышается до 790 см. Предельная толщина льдов получается потому, что, чем толще лед, тем медленнее при тех же температурах воздуха увеличивается его толщина. Льды достигают своей характерной для данного района Арктики предельной толщины тогда, когда за зиму намерзает как раз столько льда, сколько за лето его стаивает.

Предположим, например, что торос, надводная высота которого равна 5 м, а подводное углубление — около 25 м (что является вполне возможным), вынесен течением и ветрами в районе Арктики с предельной толщиной льдов, равной 3 м. Постепенно (и не в один год) толщина тороса будет уменьшаться и сверху и снизу, и в конце концов через несколько лет высота надводной части тороса станет равной 50 см, а подводное углубление равным 250 см. Если в тот же район будет принесена льдина толщиной всего 1,5 м, то с течением времени ее общая толщина также изменится до 3 м, но не более.

Таким образом, предельная толщина льдов нарастания является вполне определенной климатической характеристикой отдельных районов Арктики, включающей в себя и величину зимнего намерзания, и величину летнего стаивания.

В связи с вопросом о том, как скоро в природных условиях достигается предельная толщина льдов, мне пришлось разобраться в весьма любопытном явлении, а именно в сосуществовании воды и льда.

Положим кусок чистого льда в некоторый, совершенно изолированный от теплообмена с внешней средой объем чистой воды. В зависимости от температуры льда и воды объем льда может или уменьшиться, или увеличиться. В тот момент, когда температуры льда и воды сравняются, и создадутся условия их сосуществования.

Из этого обстоятельства вытекает весьма важное следствие. Так, в некоторых учебниках физики утверждается, что температура 0° есть температура тающего чистого льда или снега, в других — что это температура замерзания чистой воды. Оба приведенных определения не точны.

Температура 0° есть температура чистой воды, в которой положенный в нее кусок льда не увеличивается и не уменьшается в размерах.

Понятно, что из этого определения вытекают понятия о температурах замерзания морских вод и о температурах таяния морских льдов, зависящих от их солености.

Предположим еще раз, что некоторое ледяное поле перенесено ветром из района, в котором оно образовалось, в некоторый другой район. В зависимости от соотношения температур воды и ледяного поля, а также в зависимости от соотношения толщины данного ледяного поля и предельной толщины льдов нового района оно будет или увеличиваться, или уменьшаться в размерах, иными словами, или нарастать, или таять.

Но нарастание льда в силу того, что лед всегда более пресен, чем вода, из которой он образуется, влечет за собой осолонение, а таяние, наоборот, опреснение поверхностных слоев моря.

По подсчетам и наблюдениям оказывается, что предельная толщина льдов центральной части восточного сектора Арктики меньше средней толщины льдов (принимая во внимание торосы) окраинных морей этого сектора.

Действительно, наибольшей величины торошение достигает, когда ледяное поле наносит на припай или на берег, т. е. в окраинных морях. В Арктическом бассейне Нансен только однажды видел торос высотой до 7 м. Высота наибольшего тороса, измеренного «Седовым» 24 марта 1939 г. на 86°28′ с. ш. и 109° в. д., была 6,1 м. В то же время в окраинных морях торосы достигают значительно большей высоты, и встречаются они чаще, чем в Центральной Арктике. Например, в апреле 1944 г. в Чукотском море у острова Колючин высота торосов доходила до 15 м. В марте 1941 г. самолет Н-169 около 75° с. ш., между 160 и 165° в. д. видел несколько нагромождений льдов, по форме и величине походивших на айсберги.

Когда такие мощные ледяные образования, создавшиеся во время зимы в окраинных морях, выносит в Арктический бассейн, их толщина постепенно уменьшается, льды тают, а поверхностные слои воды под льдами несколько распресняются.

Во время экспедиции на «Садко» в 1935 г. в северной части Карского моря поверхностная соленость оказалась ниже, чем приблизительно на 79-й параллели, между Землей Франца-Иосифа и Северной Землей. В районе полюса недоступности соленость поверхностных вод, начиная от параллели острова Врангеля, по направлению к северу постепенно понижается. По наблюдениям станции «Северный полюс», наименьшая соленость поверхностных вод была у самого полюса, а по направлению к югу по-

степенно возрастала. Таким образом, в центральной части Арктического бассейна поверхностные воды не осолоняются вымораживанием, а, наоборот, опресняются таянием, и в результате, как мне удалось это доказать, воды Арктического бассейна отделяются от распресненных прибрежных вод своеобразным поясом вод повышенной солености, тянущимся приблизительно вдоль материкового склона.

Это явление объясняется тем, что в Центральной Арктике предельная толщина льдов вовсе не так уж велика.

Седовцы во время своего дрейфа посвятили много времени наблюдениям за полярными льдами. Кроме описания состояния льдов и снежного покрова они каждые 10 дней измеряли толщину льдов, образовавшихся естественным намерзанием, т. е. без торошения.

По измерениям «Фрама», толщина ровных ледяных полей, образовавшихся естественным намерзанием, доходила до 635 см. «Седов» дрейфовал севернее «Фрама», и тем не менее толщина ровных льдов не превосходила 220 см. Это показывает, что сейчас происходит потепление Арктики.

Вместе с тем наблюдения «Седова» еще раз подтвердили следующие факты:

1. Нарастание полярных льдов продолжается и в летнее время за счет низких температур, еще сохранившихся от зимнего времени в средней части льдов.

2. Лед, пропитавшийся летом водой от таяния снежного покрова, с началом холодов очень долго промерзает и не увеличивает своей толщины. Так, увеличение толщины льда в районе дрейфа «Седова» началось приблизительно в первой половине декабря, несмотря на то что отрицательные температуры воздуха начались со второй половины сентября. Таким образом, на осеннее промерзание льда потребовалось около двух с половиной месяцев.

Уже указывалось, толщина многолетних льдов зависит не только от числа градусо-дней мороза, но также и от величины летнего стаивания.

В районе дрейфа «Седова» за зиму было около 6 тыс. градусо-дней мороза. Какой же толщины мог быть лед на пути дрейфа при разных величинах летнего стаивания? Ниже приводятся некоторые подсчеты по формуле, выведенной мною из наблюдений многих арктических станций.

Из таблицы (стр. 104) ясно: малую толщину льдов в районе дрейфа «Седова» надо объяснять главным образом увеличившимся за последние годы стаиванием льдов в летнее время.

Летнее стаивание (в см)	Лед образования 1936 г.	Лед образования 1937 г.	Лед образования 1938 г.
10	342	279	196
50	291	253	196
100	241	225	196
150	208	205	196

Толщина ледяного поля станции «Северный полюс» была 3 м. Естественно возникает вопрос: где же оно образовалось, откуда оно было принесено к Северному полюсу?

Сейчас уже ясно, что ледяное поле станции «Северный полюс» зародилось в гораздо более суровых районах Арктики, в районах, где число градусо-дней мороза несколько больше, а летнее стаивание значительно меньше, чем в районах дрейфа «Седова».

Острова — ледяные шапки

Ледники представляются вполне естественным явлением в больших высокогорных странах, так как здесь необходимый для образования ледников снег накапливается в обширных областях питания.

Но острова — ледяные шапки представляются большой географической загадкой. Эти острова, несмотря на свою малую высоту над уровнем моря и на малые размеры, почти нацело погребены подо льдом, обрывающимся к морю отвесной ледяной стеной большей или меньшей высоты. Ледяной купол, напоминающий щит черепахи, плавно поднимается к центру острова, представляя собой как бы шапку, прикрывающую остров.

Некоторые острова — ледяные шапки полностью погребены под ледяным покровом. Таковы острова Брюса, Райнера и Евалив в архипелаге Земли Франца-Иосифа, а также острова Ушакова и Шмидта, расположенные между Землей Франца-Иосифа и Северной Землей. У других островов только небольшие и низкие косы выступают изпод отвесной ледяной стены. Таковы острова Белый и Виктория, расположенные между Шпицбергеном и Землей Франца-Иосифа.

Как будто, кроме перечисленных, столь ярко выраженных островов — ледяных шапок в восточном секторе Арк-

тики нет, и все их мне удалось посмотреть собственными глазами. Первый остров — ледяную шапку я увидел в 1930 г. Это была Земля Джиллеса, или, как теперь ее называют, остров Белый. У этого острова мы на моторно-парусном боте «Книпович» стояли на якоре и затем прошли вдоль его юго-восточного берега. В 1935 г. на ледокольном пароходе «Садко» мы прошли вдоль его северо-западного берега. Таким образом, я видел этот остров со всех сторон. Он вытянут в направлении с юго-запада на северо-восток. Его длина — около 40 км, наибольшая ширина — около 7 км.

Весь остров, за исключением двух кос на его юго-западной и северо-восточной оконечностях, покрыт сплошным ледяным покровом, плавно подымающимся до 180—200 м. К морю этот покров опускается обрывом высотой 20—30 м, верхний край которого несколько нависает над морем. От этой ледяной стены то и дело откалываются глыбы льда. Остров окружен небольшими, стоящими на мели айсбергами.

В том же 1930 г. мы на «Книповиче», войдя в архипелаг Земли Франца-Иосифа, обошли вокруг острова Брюса и стояли около него на якоре. На этом острове я не заметил ни одного пятна суши. Ледяной купол без обрыва плавно спускается в море.

В 1932 г. на том же «Книповиче» мы обошли со всех сторон остров Виктория (80°09′ северной широты), высадились на него и подняли на нем, как на крайнем западном острове Советской Арктики, советский флаг.

Этот остров, несмотря на свои малые размеры (всего 7×3 км), весь, за исключением небольшой косы у северо-западной его оконечности, покрыт ледяным покровом, подымающимся до 150 м. Ледяной покров спускается к морю обрывом, так же как и на острове Белом, но меньшей высоты. При ближайшем рассмотрении было видно, что ледяная стена острова не однородна, а состоит из горизонтальных слабоволнистых пластов различной толщины. Каждый из таких пластов, по-видимому, характеризует климатические условия момента своего образования. Чем меньше атмосферных осадков и чем больше летний прогрев, тем тоньше слой, образовавшийся в течение данного года.

В том же 1932 г. на том же судне мы прошли вдоль Белой Земли, открытой Нансеном в 1895 г. при его возвращении к Земле Франца-Иосифа, после неудачной попытки достижения Северного полюса.

Это действительно «белая земля». Ни одного мыса — сплошной ледник, спускающийся к морю в одних местах

плавно, в других — обрывисто. Около острова мы не видели ни одного айсберга.

По Нансену, в состав Белой Земли входили два крупных острова, которые он назвал в честь своей жены и дочери островами Ева и Лив. Как мы выяснили, это только один остров, состоящий из двух возвышенностей, разделенных ложбиной, что создает впечатление двух островов. Это впечатление усиливается тем, что по восточную сторону западной возвышенности сквозь лед чуть проглядывают верхушки скал. По моему предложению этот объединенный остров назвали Евалив.

В 1935 г. мы, как уже упоминалось, на ледокольном пароходе «Садко» прошли вдоль северно-западного берега моря, открыли остров — ледяную шапку, названную островом Ушакова в честь выдающегося исследователя Северной Земли.

Пожалуй, интересно отметить обстоятельства, при которых был открыт этот остров. В это время мы спускались на юг вдоль западного края открытого нами мелководья «Садко». Погода была туманная, и видимость плохая. Сначала среди льдов, в которых пробирались, мы увидели несколько айсбергов. Их плавные, сглаженные формы говорили о том, что они сравнительно давно оторвались от ледника. Некоторые, по-видимому, уже даже перевертывались. Об этом по крайней мере свидетельствовала загрязненность их поверхности. Но по мере продвижения к юго-востоку айсберги становились моложе. Они были белее, и края их угловаты. Много предположений приходило нам в голову. Одно из них, постепенно укреплявшееся, гласило: месторождение айсбергов где-то недалеко. Мы начали специальные поиски, и вскоре в тумане показался остров, к которому мы подошли с севера. На остров была послана небольшая партия. В дальнейшем мы подходили к острову Ушакова и с юга. По-видимому, этот остров нацело покрыт льдом.

Во время той же экспедиции мы прошли вокруг острова Шмидта, открытого в 1930 г. экспедицией на «Седове» и названного так в честь начальника экспедиции. Остров Шмидта подобен острову Ушакова.

Наибольшее впечатление из островов — ледяных шапок на меня произвели острова Белый и Евалив. Возможно, потому, что оба этих острова я видел при изумительно ясной погоде.

В средних широтах наиболее красивым временем дня считаются утро и вечер. Лучам солнца, чтобы дойти до нас, приходилось в это время проходить через слои

воздуха более длинный путь, чем в полдень, и поэтому утро и вечер всегда красочнее полудня. Но утра и вечера в средних широтах коротки. В высоких широтах даже в полдень высота солнца так мала, что создается только вечернее или утреннее освещение. Вот в чем секрет очарования хороших дней в Арктике. В летнее время в высоких широтах дня нет. Есть длинное утро, переходящее в затянувшийся вечер.

Остров Евалив я видел при полуночном солнце. Остров Белый я видел и в полдень и в полночь при полной, не заходившей в течение всего дня луне.

Вот выдержки из моего дневника о плавании около острова Белого в 1930 г.:

«... Мы стоим у отвесного края ледника, и сверху к обрыву по направлению к нам спускается белый медведь. Он доходит до края ледника, некоторое время смотрит на нас, потом, очевидно не находя в нас ничего интересного, на некоторое время ложится на снег, затем подымается и уходит в гору, чтобы скрыться в тумане...»

«... Ветер совсем стих, и туман постепенно уходит. Полная луна, освещающая айсберги, окружающие нас, и стену ледника, у которого мы стоим. Снеговая шапка острова кажется опрокинутой чашей из матового серебра, резко очерченной на фоне желтоватой зари».

Далее о дневных впечатлениях при обходе острова в дневнике сказано:

«Отдать справедливость, приметных мест на Джиллесе мало. Это действительно снежный каравай, обрывающийся у моря отвесной ледяной стеной высотой 10—12 метров.

Дует легкий вест. Чудесное утро — слегка туманное и облачное... Поворачиваем на норд...

Проясняет. Виден весь остров. За островом ярко-синее небо. Прорвавшиеся где-то лучи солнца превращают ледяную стену Джиллеса в золотой хрусталь...»

Главными отличиями ледяного покрова островов — ледяных шапок от обычных ледников, стесненных в своем течении берегами, являются почти полное отсутствие трещин и неровностей на поверхности и ее одинаковый уклон, равный приблизительно 2—3°.

Весьма неприятными на этих островах являются так называемые катабатические ветры, т. е. сильные потоки воздуха вниз по холодным склонам. Такие ветры наблюдались, например, вдоль края Антарктического материка. Экспедиция британского Арктического воздушного пути на своей главной стоянке в Гренландии наблюдала такие ветры. В то же время в Ангмагссалике, на расстоянии

нескольких миль от стоянки, были только слабые и умеренные ветры. Из этого заключают, что такие ветры распространяются очень невысоко и быстро затухают под влиянием трения и перемешивания. В 1930 г., во время стоянки на якоре у острова Белого мы также наблюдали такой ветер. Вниз по склону острова мчался, вздымая снежную пыль и срывая верхушки волн у берега, ветер штормовой силы. В то же время на расстоянии 2—3 миль от берега море было совершенно спокойно.

Острова — ледяные шапки обычно окружены айсбергами разной степени разрушения, иными словами — разного возраста.

108 Все острова — ледяные шапки замечательны, во-первых, тем, что все они находятся за 80-й параллелью, между Шпицбергеном и Северной Землей; во-вторых, тем, что все они расположены среди или недалеко от таких же по размерам островов, на которых больших скоплений льда и снега нет.

Так, например, в северо-западной части Баренцева моря, к югу от типичных островов — ледяных шапок Белого и Виктории, расположены лишенные значительного ледяного покрова острова Короля Карла, к северо-западу — острова Фойн, Брок, Карла, Семь Островов и северо-восточное побережье Северо-Восточной Земли, к востоку — Земля Александра, в своей северо-западной части также лишенная ледяного покрова.

Между островом Ушакова (ледяной шапкой) и северным островом Новой Земли расположен остров Визе, не имеющий ледяного покрова. Расположенные на запад и на восток от острова Ушакова ближайшие части архипелагов Земли Франца-Иосифа и Северной Земли сравнительно мало оледенены.

Отсюда возникает вопрос: не являются ли такие острова реликтовыми (остаточными) от последнего оледенения?

Мне представляется маловероятным, что Гренландия, например, является единым островом, а не архипелагом, подобным Шпицбергену. Одновременно с общим потеплением Арктики в первую очередь будут протаивать и разрушаться проливы, и Гренландия, таким образом, начнет распадаться на отдельные острова. Естественно, что некоторые острова при этом освободятся от оледенения в последнюю очередь.

Это предположение как будто подтверждается еще тем обстоятельством, что, по современным представлениям, Гренландия — самый большой остров на земном шаре. Ее площадь — более 2 100 тыс. кв. км, в то время как

площадь второго по величине острова — Новой Гвинеи — только более 800 тыс. кв. км.

Большое количество айсбергов, встречаемых у таких островов, особенно у стоящих отдельно, как острова Белый, Виктория, Ушакова, является также косвенным доказательством того, что эти острова находятся в стадии разрушения. Количество осадков (на юге Земли Франца-Иосифа — около 500 мм, а на севере — около 300 мм в год), выпадающих на эти острова, не может уравновешивать расход ледника на рождение айсбергов.

Надо указать, что питание ледников может происходить не только за счет выпадения твердых атмосферных осадков.

Облака, состоящие из сильно переохлажденных капелек воды, проплывая над холодными вершинами, образуют на этих вершинах изморозь.

Значение изморози для питания ледников мало освещено, но известно, что в шведской Лапландии на высоте около 2 тыс. м, а в Альпах на высотах 2—3 тыс. м образуются значительные скопления этого вида осадков. В полярных странах изморозь может играть значительную роль. Тем бóльшую роль она может играть на изолированных островах — ледяных шапках. Однако ее также вряд ли достаточно для покрытия расхода льда в результате отделения айсбергов.

Наконец, надо подчеркнуть, что загадка островов — ледяных шапок еще более усложняется, если принять во внимание следующие факты.

Остров Белый, ледяная шапка которого поднимается до 200 м над уровнем моря, расположен приблизительно на 80°10′ северной широты, в 120 км севернее островов Короля Карла. На островах же Короля Карла, на которых, как уже указывалось, оледенения почти нет, морские террасы обнаружены на высотах до 240 м, т. е. на высотах, приблизительно равных высоте ледяного купола острова Белый. Это свидетельствует об общем поднятии района, прилегающего к острову Белому.

Еще более удивительными на тех же островах Короля Карла являются находки плавника на высотах до 45 м. Конечно, на такую высоту плавник не могли забросить морские волны. Этот плавник с гораздо большей убедительностью, чем морские террасы, свидетельствует о поднятии острова Короля Карла, и притом о поднятии недавнем. Действительно, мы знаем, что в арктическом воздухе бактерий почти нет и поэтому гниение в Арктике происходит весьма медленно. Но нельзя же допустить, что в

Арктике плавник может сохраняться в течение громадных промежутков времени.

С другой стороны, известно, что на Земле Франца-Иосифа находили оленьи рога, но никто никогда не видел там живых оленей. На Шпицбергене дикие олени водятся. Так, например, во время стоянки судна «Гекла» в бухте Трауренберг с 19 июня по 28 августа 1927 г. было убито 70 диких оленей. Спрашивается: каким образом попали олени на Шпицберген? Не пробрались ли они туда по льдам с Новой Земли, через Землю Франца-Иосифа, острова Виктория и Белый? Кто может ответить сейчас на этот вопрос?

Дрейф льдов

Плавучие и паковые льды и зимой и летом находятся в непрестанном движении. Это движения: постоянные, вызываемые преобладающими и постоянными ветрами, обусловленными распределением постоянных областей атмосферного давления в прилегающих к Арктике районах, и постоянными течениями; сезонные, связанные с сезонным смещением центров действия атмосферы; периодические, обусловленные приливо-отливными явлениями, и временные, возникающие главным образом под влиянием временных ветров.

Дрейфы судов во льдах показывают, что движение льдов никогда не протекает прямолинейно. Ледяные поля движутся то в одном направлении, то в другом, то возвращаются обратно, то описывают причудливые петли и зигзаги.

Наши представления о движении льдов в центральной части Арктического бассейна до сих пор недостаточно точны. Они основаны на изучении сравнительно небольшого числа дрейфов кораблей вместе со льдами, а также на изучении путей специальных буев, выброшенных в различных районах Арктического бассейна.

Насколько можно судить по имеющимся наблюдениям, во всех окраинных морях Советской Арктики вынос льдов в центральную часть Арктического бассейна преобладает над поступлением льдов оттуда в эти моря. В самой центральной части Арктического бассейна, насколько до сих пор известно, существуют две основные системы движений арктических льдов. Одна из них связана с выносом льдов из Арктики в Гренландское море и обусловлена притоком береговых вод и господствующими ветрами; другая представляет антициклонический круговорот с центром, расположенным приблизительно под 83—85° с. ш. и 180—



Рис. 24. Карта дрейфа льдов и поверхностных течений Северного Ледовитого океана

190° з. д., который обусловлен ветрами, связанными с областью повышенного давления атмосферы в Центральной Арктике.

Эти две системы движений подтверждаются всеми известными дрейфами судов. Так, судно «Карлук» под командой капитана Бартлетта в 1913—1914 гг. продрейфовало вместе со льдами на протяжении 500 миль приблизительно от мыса Барроу на Аляске до острова Врангеля. Судно «Жаннетта» под командой Де-Лонга в 1879—1881 гг. продрейфовало от острова Врангеля до Новосибирских островов, на протяжении 750 миль. «Фрам» Нансена дрейфовал от Новосибирских островов до пролива между Шпицбергеном и Гренландией, на протяжении 1400 миль. «Мод», судно экспедиции Амундсена, в 1922—1924 гг. продрейфо-

вало от острова Врангеля до Новосибирских островов, на протяжении 750 миль. Дрейф «Мод» почти полностью повторил дрейф «Жаннетты», указывая тем самым на сравнительное постоянство направления движения льдов.

Непрерывное движение льдов с востока на запад вдоль материкового склона европейско-азиатского берега доказано также наблюдениями во время санных экспедиций Парри, Каньи, Нансена, а у материкового склона Америки — наблюдениями Стефанссона между 220 и 230° з. д. и его же наблюдениями между 230 и 250° з. д. О таком же движении говорят и многочисленные буи, выброшенные советскими экспедициями в Карское море и в море Лаптевых и найденные впоследствии у берегов Гренландии, Исландии и Норвегии.

Таким образом, дрейф льдов образует одну непрерывную линию по периферии Центрального Арктического бассейна от 200 з. д. до 0°, охватывая более полуокружности Земли по долготе. Такой дрейф льдов продолжается от Берингова пролива до выноса их в Гренландское море в среднем 4,5—5 лет.

Менее изучено направление дрейфа льдов у американского побережья Арктического бассейна. Имеются указания Пири, что во время его неоднократных санных путешествий к северу от Гренландии и Земли Гранта движение льдов было направлено с запада на восток, т. е. тоже к широкому проливу между Гренландией и Шпицбергеном.

Наблюдения станции «Северный полюс» впервые показали, что льды от Северного полюса движутся прямо в Гренландское море.

Во время своей экспедиции Нансен потратил много труда на изучение обстоятельств дрейфа «Фрама». Он подметил, что ледяные поля Центральной Арктики очень быстро подчиняются ветру и изменяют свою скорость и направление в соответствии с изменениями скорости и направления ветра. Выводы Нансена можно обобщить в следующие два простых правила:

1. Скорость дрейфа льдов приблизительно в 50 раз меньше скорости ветра, вызвавшего этот дрейф.

2. Направление дрейфа льдов отклоняется в среднем на 30° от направления ветра, вызвавшего дрейф.

Последнее явление Нансен приписал влиянию отклоняющей силы вращения Земли. Это объяснение было совершенно правильно и в дальнейшем легло в основу современных теорий морских течений, о чем подробно было рассказано выше.

В дальнейшем правила Нансена проверялись многими экспедициями и на многих полярных станциях. Замеченные отклонения от этих правил иногда помогали разбираться в весьма сложных явлениях. Так, например, как уже указывалось, угол отклонения дрейфа «Фрама» в среднем колебался около 30° вправо от направления ветра. Между тем когда Нансен подсчитал среднее направление ветра за все три года и средний дрейф «Фрама» за то же время, то оказалось, что «Фрам» отклонился на 1° влево. Отсюда Нансен пришел к выводу, что дрейф «Фрама» складывался из двух дрейфов: одного — под влиянием местных и кратковременных ветров, другого — связанного с общей циркуляцией льдов Северного Ледовитого океана.

Примером плодотворности изучения связей между ветром и ветровым дрейфом ледяных полей является открытие в северной части Карского моря острова Визе. Этому открытию предшествовали события довольно давние.

Как уже упоминалось, экспедиция лейтенанта Г. Л. Брусилова на судне «Св. Анна» 2 октября 1912 г. была зажата льдами у западного побережья полуострова Ямал. В дальнейшем судно вынесло из Карского моря вдоль восточного побережья Земли Франца-Иосифа в Центральный Арктический бассейн. 22 июня к мысу Флора добрались только два участника экспедиции: штурман Альбанов и матрос Конрад; 2 августа они были встречены на мысе Флора возвращавшимися в Архангельск участниками экспедиции лейтенанта Седова на «Св. Фоке».

Поход Альбанова к Земле Франца-Иосифа был интересен уже сам по себе, так как он прошел как раз через те места, на которых значились Земля Петермана и Земля Короля Оскара, и доказал, что эти земли не существуют. Но гораздо важнее было то, что, несмотря на огромные трудности своего путешествия по льду, Альбанов сохранил вахтенный журнал «Св. Анны» и полные записи метеорологических наблюдений за все время до ухода своего с корабля. Это позволило восстановить все обстоятельства дрейфа «Св. Анны».

В 1924 г. профессор Визе, анализируя эти наблюдения, натолкнулся на любопытную особенность дрейфа «Св. Анны» между 78-й и 80-й параллелями и между 72-м и 78-м меридианами. Здесь судно, дрейфовавшее в общем на север, отклонялось от направления ветра не вправо, как это следовало из второго правила Нансена, а влево. Отсюда Визе пришел к заключению, что такая особенность может быть объяснена тем, что между 78 и 80° с. ш. к востоку и недалеко от линии дрейфа «Св. Анны» находится

суша. Экспедицией на ледокольном пароходе «Седов» в 1930 г.— с участием самого Визе — предсказанная суша действительно была обнаружена: она оказалась островом, расположенным между 79°29′ и 79°32′ северной широты. Этот остров по справедливости назван островом Визе.

Далее из анализа того же дрейфа вытекало, что южнее острова Визе и севернее острова Уединения расположен еще один остров. Хотя в дальнейшем новый остров не был обнаружен, но зато было доказано, что остров Уединения расположен западнее, чем было показано на картах.

Весьма интересные наблюдения над дрейфом льдов были сделаны станцией «Северный полюс». Благодаря многочисленным астрономическим определениям географического положения дрейфующего ледяного поля и инструментальным определениям скорости его дрейфа картина движения ледяного поля воспроизведена с такими подробностями, каких не дал ни один дрейф, изучавшийся до сих пор.

На карте показано, что ледяное поле станции «Северный полюс» во время своего дрейфа выписывало причудливые зигзаги, а иногда даже петли, в то же время сохраняя неизменным свое общее направление от полюса в Гренландское море и далее вдоль восточного побережья Гренландии.

Зависимость дрейфа ледяного поля от ветра была обнаружена уже в первый месяц после организации станции. Так, приблизительно до 5 июня в районе станции преобладали северо-западные ветры и ледяное поле двигалось почти прямо на юг. С 5 по 21 июня северо-западные ветры сменились юго-западными и ледяное поле начало двигаться на восток. Таким образом, под влиянием ветра ледяное поле меняло направление своего движения.

Изменялась и скорость общего продвижения ледяного поля на юг. Средняя скорость дрейфа за весь период была около 9 км в сутки. Но при этом были периоды, когда ледяное поле оставалось на месте в течение нескольких суток. В некоторые же дни скорость движения ледяного поля увеличивалась до 43 км в сутки. Однако по мере продвижения ледяного поля к югу скорость дрейфа неуклонно возрастала. Так, от полюса до 85° с. ш. среднесуточная скорость дрейфа на юг была около 5 км в сутки. От 85 до 81° с. ш. она увеличилась до 9 км в сутки. В январе она увеличилась до 21 км в сутки, в феврале среднесуточная скорость движения на юг возросла до 23 км в сутки.

Предварительное изучение дрейфа ледяного поля пока-

зало, что ледяное поле дрейфовало под влиянием ветра, дующего в данное время в данном месте, и одновременно под влиянием общего движения, направленного к югу и независимого от местного ветра (при отсутствии ветра ледяное поле неизменно двигалось к югу). Северные ветры ускоряли его движение на юг, южные ветры замедляли или даже преодолевали действие постоянного дрейфа, и ледяное поле двигалось на север, как это видно из рисунка 24.

Скорость этого независимого от местного ветра движения льдов около полюса равнялась примерно 2 км в сутки. Однако к югу эта скорость постепенно увеличивалась и между 70-й и 75-й параллелями достигала 10—12 км в сутки.

Скорость дрейфа особенно резко увеличилась после того, как ледяное поле приблизилось к берегам Гренландии. Не один только ветер повинен в постепенном увеличении скорости ледяного поля по мере его продвижения на юг. Несомненно, здесь некоторую роль сыграла большая свобода движения ледяного поля по мере подхода к свободным ото льдов просторам Гренландского моря. Так, в августе средняя скорость ветра была несколько больше, чем в декабре, а направление ветра было приблизительно одинаково. Тем не менее ледяное поле в декабре дрейфовало почти в 3 раза быстрее, чем в августе. Главную роль играло здесь Восточно-Гренландское течение, в котором двигалась льдина в декабре.

Все зигзаги и петли всех известных дрейфов были связаны с изменениями в направлении и скорости ветра.

Дрейф «Седова» повторяет путь ветра с той лишь разницей, что он отклонен от ветра градусов на 30 вправо. Если в некоторых точках дрейфа и получаются небольшие отклонения от правил Нансена, то это надо объяснить скорее неполнотой сведений, чем действительностью.

Произведенная мною обработка наблюдений седовцев показала, что в этом районе дрейфа постоянное течение было слабым: практически можно считать, что оно отсутствовало. Благодаря этому для изучения связи между дрейфом и ветром имелись чуть ли не лабораторные условия. Вдали от искажающего влияния суши и постоянных течений ветровой дрейф проявлялся здесь почти в чистом виде.

Надо еще раз подчеркнуть, что в отличие от метеорологических наблюдений прежних полярных исследователей аналогичные наблюдения «Седова» производились при наличии в Арктике современной сети советских полярных

Рис. 25. Распределение среднего давления атмосферы (в миллибарах) в Арктике зимой (стрелки показывают основное направление движения льдов)

станций при современном уровне знаний об Арктике. Это обстоятельство в связи с высокой точностью наблюдений, произведенных седовцами, позволяет сделать из этих наблюдений весьма ценные выводы. Так, дальнейший анализ дрейфа «Седова» и сопоставление его с картами распределения атмосферного давления, составленными в бюро погоды на этот же период, позволили мне дополнить правила Нансена еще двумя такими же простыми правилами:

1. Дрейф льдов направлен по изобарам. При этом дрейф направлен так, что область повышенного давления атмосферы находится справа, а область пониженного давления — слева от линии дрейфа.

2. Дрейф льдов происходит со скоростью, пропорциональной градиенту атмосферного давления, иначе говоря

скорость дрейфа обратно пропорциональна расстоянию между изобарами.

Первое из этих двух правил нетрудно вывести. В умеренных и высоких широтах ветер из-за трения о поверхность Земли и под влиянием силы Кориолиса направлен приблизительно на 30° влево от соответствующей изобары. Дрейф льдов, согласно второму правилу Нансена, отклоняется от направления ветра приблизительно на 30° вправо. В результате получается, что лед должен дрейфовать по изобарам.

Второе правило было выведено так. При отсутствии постоянных течений и искажающего влияния суши льды движутся со скоростью, пропорциональной скорости ветра. Последняя в свою очередь пропорциональна градиенту давления атмосферы. Чем гуще на синоптической карте проведены в каком-нибудь районе изобары, тем сильнее в данном районе ветер. Отсюда явилась подкрепленная теоретическими соображениями возможность судить по синоптической карте не только о направлении дрейфа льдов, но и о его скорости.

Карты 25,26 показывают среднее распределение атмосферного давления в Арктике летом и зимой. Из этих карт видны основные черты циркуляции льдов Центральной Арктики, объясняющие все дрейфы и другие явления.

Но из рассмотрения этих карт вытекает также, что для суждения о том, куда именно будет направлен дрейф льдов или путь корабля, дрейфующего вместе со льдами, мало знать положение корабля в той или иной точке Арктического бассейна. Надо знать также и момент времени. Так, если бы «Седов» к началу апреля 1939 г. оказался на той же широте, но не на сотом меридиане, как это было в действительности, а приблизительно на долготе Берингова пролива, то его понесло бы не к проливу между Шпицбергеном и Гренландией, а к северному побережью Америки.

Движение льдов по изобарам объясняет, между прочим, и то, почему судно экспедиции Амундсена «Мод», вошедшее в 1922 г. во льды у острова Врангеля, чтобы продрейфовать через Северный полюс, двигалось вместе со льдами вдоль материкового склона Азиатского побережья, т. е. по параллели, а не по меридианам. Оказывается, изобары в районе острова Врангеля обычно, особенно осенью, протягиваются примерно по параллели.

Далее из тех же карт давления атмосферы видно, что и зимой и летом часть изобар упирается в северное побережье Гренландии, создавая здесь область нагромождения мощ-

Рис. 26. Распределение среднего давления атмосферы (в миллибарах) в Арктике летом (стрелки показывают основное направление движения льдов)

ных льдов, а часть изобары протягивается из Арктического бассейна в Гренландское море, чем и обусловливается вынос арктических льдов в это море — ледяной поток.

Ледяной поток

Спустившись в своем дрейфе от Северного полюса к югу за 81° с. ш., ледяное поле станции «Северный полюс» вступило в Гренландское море и начало двигаться по широкому мелководью, опоясывающему с востока побережья Гренландии. Здесь оно включилось в знаменитый Гренландский поток льдов, непрерывной лентой движущийся вдоль восточного побережья Гренландии, от Северо-Восточного мыса до ее южной оконечности — мыса

Фаруэлл, и затем поднимающийся на север вдоль западного побережья Гренландии в Баффинов залив. Этот непрерывный поток, движущийся и зимой и летом, представляет одно из замечательных явлений природы, хотя и менее известное, чем Гольфстрим.

Происхождение Гренландского потока, или Восточно-Гренландского течения, таково. Ежегодно в Северный Ледовитый океан поступает около 3 тыс куб. км речных вод, около 20 тыс. куб. км тихоокеанских вод через Берингов пролив и более 50 тыс. куб. км теплых атлантических вод из Норвежского и Гренландского морей. Небольшая часть воды вытекает в Баффинов залив через многочисленные, но мелководные проливы Американского архипелага. Основная же масса их (около 80 тыс. куб. км) поступает в Гренландское море через пролив между Гренландией и Шпицбергеном, создавая Восточно-Гренландское течение.

Карты, на которых представлены направления господствующих ветров за январь — август, в сравнении со схемой постоянных течений в Североевропейском море, а также карты изобар для летнего и зимнего сезонов показывают, что это течение хотя и является стоковым, но в то же время обусловливается господствующими ветрами, т. е. является, таким образом, и дрейфовым течением.

Восточно-Гренландское течение настолько сильно, что не только выносит весь приток вод, поступающих в Арктический бассейн, но и подсасывает атлантические воды, которые компенсируют усиленный вынос вод из Арктического бассейна.

Восточная граница Гренландского течения круглый год занимает почти неизменное положение, приблизительно совпадая с восточными границами материковой отмели, опоясывающей Гренландию. Таким образом, поток льдов как бы приучен к малым глубинам.

Льды Гренландского потока разделяются на три параллельных потока. Западный поток, наиболее близкий к Гренландии, состоит из льдов, образовавшихся в многочисленных фьордах Гренландии и вынесенных оттуда вместе с наполняющими эти фьорды айсбергами. Центральный поток состоит из паковых льдов, выносимых в Гренландское море из Центрального Арктического бассейна. В этом потоке как раз и дрейфовало ледяное поле станции «Северный полюс». Наконец, восточный (или внешний) поток состоит из льдов, вынесенных в Гренландское море из районов Шпицбергена, Земли Франца-Иосифа, Северной Земли,

а также из льдов, образующихся в самом Гренландском море.

Скорость Гренландского ледяного потока не одинакова по длине: у 81°с. ш. его скорость — около 3—3,5 км в сутки, к югу эта скорость постепенно возрастает и в Датском проливе (между Гренландией и Исландией) достигает 20—30 км в сутки. Скорость каждого из трех параллельных потоков также не одинакова. По-видимому, наибольшей скоростью обладает центральный ледяной поток.

Неодинаковость скорости потока была известна и раньше, но она особенно ясно доказывается дрейфом станции «Северный полюс». Действительно, в то время, когда ледяное поле дрейфовало в Арктическом бассейне, его ориентировка относительно стран света почти не изменялась. Таким образом, создавалось впечатление, что ледяное поле, несмотря на все искривления его пути, участвует в общем движении обширной площади ледяных полей.

Но после того как ледяное поле вступило в Гренландское море, оно стало поворачиваться то в одну, то в другую сторону, что, безусловно, вызывалось течением, возникшим вследствие неодинаковой скорости отдельных ледяных полей. Вместе с увеличением скорости по мере продвижения к югу уменьшается и ширина Гренландского ледяного потока. Так, на 80-й параллели ширина ледяного потока доходит до 400 км, а на 70° она уменьшается до 200 км.

Неоднократно делались попытки подсчитать количество льдов, выносимых через пролив между Гренландией и Шпицбергеном. Однако до сих пор нет правильных результатов из-за отсутствия точных сведений о средней толщине льдов, об изменениях скорости движения в различные времена года, о площади моря, занятой льдами, и т.д.

По вычислениям Визе, количество выносимых льдов составляет 8 тыс. куб. км льда в год, а по моим, очень осторожным, подсчетам — еще меньше. Считая, что Гренландский поток благодаря соответствующим ветрам очень устойчив, а скорость его — около 8—12 км в сутки при ширине около 200 км, я установил, что этим течением ежегодно выносится из Арктического бассейна до 1 млн. кв. км морских льдов, т. е. от 13 до 20 % всей площади льдов центральной части Северного Арктического бассейна. Принимая осторожно среднюю толщину выносимых Гренландским потоком льдов равной 3 м, ежегодный вынос льда получаем равным 3 тыс. куб. км, или около 2 500 тыс. т морского льда. Для того чтобы растопить этот лед, надо затратить более 170×10^{18} грамм-калорий тепла.

Выносимый из Арктики лед, растаивая в более южных широтах и поглощая огромные количества тепла, делает климат прилегающих областей более суровым. Можно сказать, что ледяной поток выносит из Арктики холод, тогда как речные и атлантические воды несут туда тепло. Надо вспомнить, что и при образовании льда выделяются огромные количества тепла, передаваемые воздуху. Эти количества приносимого в Арктику тепла и выносимого оттуда холода не остаются неизменными из года в год. Эти изменения самым существенным образом сказываются на условиях погоды Западной Европы и на условиях ледовитости в западных окраинных морях Советской Арктики.

Наблюдения станции «Северный полюс» тем ценны, что, являясь существенным дополнением к производившимся перед этим советскими исследователями наблюдениям в Гренландском море, впервые дают возможность точнее подсчитать количество льдов, выносимых из Центрального Арктического бассейна, и проследить их дальнейшую судьбу. В то же время результаты наблюдений станции «Северный полюс» выдвигают новые и чрезвычайно важные проблемы.

Прежде всего возникает вопрос: является ли большая скорость дрейфа станции явлением, обычным для Гренландского потока, или она связана только с особыми климатическими условиями зимы 1937/38 г. и в какой мере она связана с общим потеплением Арктики?

В истории исследования Арктики известно много случаев дрейфа судов вместе с гренландскими льдами. Так это было, например, с советским судном «Мурманец» во время операции по снятию станции «Северный полюс». «Мурманец» был зажат льдами к югу от Ян-Майена и затем вместе со льдами был вынесен через Датский пролив в район к югу от Исландии, где он освободился из льда.

Наиболее замечательными дрейфами судов вместе с гренландскими льдами были следующие: в июне 1777 г. несколько судов голландского китобойного флота были зажаты льдами у 76°с. ш., и их несло вместе со льдами на юг через Датский пролив со скоростью 18—20 км в сутки; «Ганза» — парусное судно германской арктической экспедиции — вошла в лед 14 сентября 1869 г. на 73°25′ с. ш. и 34° 20′ з. д., в 70 км от восточного берега Гренландии, и ее вместе со льдами понесло на юг. 22 октября в 1869 г. «Ганза» была раздавлена льдами у 70°52′ с. ш. и 339° з. д. (т. е. несколько севернее и несколько западнее того места, в котором были сняты зимовщики станции «Северный по-

люс»). Люди с «Ганзы» дрейфовали на льдине вдоль восточного побережья Гренландии и после двухсотдневного дрейфа на 61° 21′ с. ш. и 318° з. д. пересели на шлюпки и на них достигли побережья Гренландии. Всего за время дрейфа было пройдено почти 2 тыс. км. Совпадение места снятия станции «Северный полюс» и места начала дрейфа экипажа «Ганза» на льдине позволяет подсчитать дрейф льдов на огромном протяжении — от полюса до юго-западного побережья Гренландии.

Известно было, что ледяные поля центральной части Арктики, вступающие в Гренландское море, имеют сравнительно большие размеры. Но многочисленные наблю-

дения промысловых и научных судов говорили о том, что в районе между Ян-Майеном и Исландией встречаются только обломки этих полей размерами приблизительно 30—50 м в поперечнике. Эти обломки толстых ледяных полей датчане и норвежцы называют «сторис», что значит «большой лед». Таким образом, в Гренландском море, между мысом Северо-Восточным и Ян-Майеном, должен происходить разлом больших ледяных полей Арктики, но, как именно он происходит, было неизвестно.

Еще во время дрейфа челюскинцев было подмечено, что иногда, особенно во время торошения ледяных полей, по льду как бы пробегали волны, под действием которых ледяные поля начинали покачиваться. Эти обстоятельства были хорошо известны челюскинцам Ширшову и Кренкелю, и поэтому во время дрейфа станции «Северный полюс» особенно внимательно велись наблюдения над поведением пузырька уровня теодолита, установленного на ледяном поле, с целью обнаружения таких колебаний во льду.

Дрейф ледяного поля станции «Северный полюс» вначале проходил в общем чрезвычайно спокойно. Зимовщики обнаруживали иногда на своем поле трещины, образовавшиеся в связи с изменениями температуры, но торошения и сильных толчков до конца января не наблюдали. Даже повороты ледяного поля около вертикальной оси были сравнительно малыми, особенно в начале дрейфа.

Первый сильный толчок был отмечен 20 января, а первые колебания уровня были обнаружены только 21 января 1938 г., когда ледяное поле находилось в Гренландском море, приблизительно на 77°с. ш. Несомненно, это было связано с тем, что весь январь в Гренландском море был штормовым и скорость ветра нередко достигала 30 м/сек. В связи с такой силой ветра и с тем, что восточная часть Гренландского моря всегда свободна ото льдов, ледяные поля пришли в некоторое движение.

26 января начался непрерывный шестидневный шторм, и ледяное поле стало испытывать более сильные покачивания. Период этих покачиваний был 10—12 сек., т. е. приблизительно такой, какой наблюдается у штормовых океанских волн, а наклон ледяного поля доходил до 60 угловых секунд и более. В результате этих покачиваний в ледяном поле создавались напряжения, и в конце концов 1 февраля ледяное поле разломалось по линиям, приблизительно перпендикулярным направлению ветра. Несомненно, причиной этих колебаний и разлома ледяного поля явилась крупная зыбь, вызванная штормовыми ветрами в ближайших свободных ото льдов пространствах Гренландского моря и затем — по общему закону — распространившаяся во всех направлениях.

После разлома ледяного поля зимовщики станции «Северный полюс» оказались на льдине размерами 30×50 м, отделенной от других льдин трещинами шириной 1—5 м. Когда ветер стих, льды начали сближаться и смерзаться. И 19 февраля, в день, когда станция «Северный полюс» прекратила свою работу, расстояние от станции до края поля, на котором она находилась, было уже около 2 км. Но новое поле, смерзшееся из разломанных частей старых ледяных полей, конечно, не было уже таким крепким, как старое, и в дальнейшем ветры даже меньшей силы быстро смогли бы его разломать.

Еще о барическом дрейфе льдов

Уже отмечалось, что в результате анализа дрейфа льдов мне удалось установить впоследствии подтвержденные математическим путем два правила, а именно:

1. Льды дрейфуют по изобарам, оставляя область повышенного давления атмосферы справа.

2. Льды дрейфуют со скоростью, пропорциональной градиенту давления атмосферы.

Все же некоторые исследователи до сих пор продолжают искать зависимость между скоростью и направлением ветра и скоростью и направлением дрейфа льдов. При этом случаи дрейфа льдов при отсутствии ветра обычно приписываются влиянию постоянных и других морских течений. Однако здесь упускается из виду, что ветер есть следствие распределения атмосферного давления, а ветровой дрейф есть следствие ветра. Не проще ли поэтому ис-

кать зависимость дрейфа льдов от распределения атмосферного давления?

Вот некоторые доказательства удобства такого приема.

Предположим, как это сделал Н. К. Ханайченко, что в некотором районе расположились области повышенного и пониженного давления атмосферы (или, иначе, антициклоны и циклоны) — как это обычно и бывает — в шахматном порядке (см. *Н. Н. Зубов*. В центре Арктики. М., 1948, стр. 357).

На рисунке показана схема такого расположения; стрелками показаны направления дрейфа льдов по изобарам. Точки O' и O'' называются нейтральными, или гиперболическими. Эти точки характеризуются полным отсутствием

в них ветра. Линии AB, $CД$ и EF называются асимптотами. Величина стрелок вдоль асимптот показывает теоретическое распределение скоростей дрейфа льдов вдоль этих линий.

Естественно, что если по направлению вдоль асимптот скорость дрейфа увеличивается, то при этом происходит сжатие льдов, если уменьшается — то разрежение. Так, например, по направлению от точки O'' к точкам m и n льды разрежаются. По направлению от точек P и q к точке O' льды сжимаются.

На рисунке линия MN представляет береговую черту, причем кверху от этой линии расположено море. Из рисунка следует, что, несмотря на господствующее около точки O' маловетрие, льды отжимаются от берега и разрежаются, а у точки O'', наоборот, прижимаются к берегу и сжимаются.

Расположение на рисунке барических систем и положение береговой черты приблизительно напоминают господствующие условия у северных берегов Восточной Сибири. Район около точки O' примерно соответствует условиям, наблюдающимся с ноября по март к северу от острова Айон. Так как в остальные месяцы года в этом районе наблюдается или маловетрие, или преобладание северо-западных ветров, то здесь и создается ледяной массив (Айонский), как бы нависающий с севера над берегом и постоянно угрожающий плаванию между Восточно-Сибирским и Чукотским морями.

С 21 по 26 августа 1946 г. я пролетел над льдами Карского моря и пролива Вилькицкого, над льдами у восточного побережья Таймырского полуострова, над льдами у архипелага Де-Лонга, над Айонским массивом и льдами Чукотского моря. И нигде я не видел таких мощных и торосистых льдов, как именно в районе Айонского массива.

Во всех других морях Советской Арктики преобладают однолетние льды. Эти льды, даже если они переживают полярное лето, в течение последующей зимы выносятся в Центральный Арктический бассейн. Льды Айонского массива в основном многолетние и только в небольшом количестве выносятся в летнее время ветрами и течениями через пролив Лонга в Чукотское море.

Если принять, что льды дрейфуют по изобарам и со скоростью, пропорциональной градиенту давления, то льдины будут дрейфовать, не изменяя своего относительного положения, только при правильных круговых изобарах и при условии, что во всех точках рассматриваемой барической системы отношение градиента давления к расстоянию от центра системы одно и то же. Во всех остальных случаях льдины дрейфуют с различной угловой скоростью. Их относительное расположение непрерывно меняется; в одной и той же барической системе, даже при условии ее неподвижности, создаются области схождения и области расхождения льдин и т. п.

Плодотворные результаты дает применение правила о дрейфе льдов по изобарам и при изучении влияния на состояние льдов движущихся барических систем.

Предположим, что циклон с круговыми изобарами и постоянным градиентом давления пересекает под углом 45° прямоугольный канал с равномерно разбросанными льдинами (*Н. Н. Зубов.* В центре Арктики, стр. 358).

На этом рисунке показаны путь циклона, границы его влияния, области сжатий и разрежений, а также направление вращения льдин. Понятно, что, видоизменяя расположение берегов и направления относительно них путей циклонов, можно приблизить задачу к существующим в природе условиям. С известным допущением даже такой схематический случай можно применить, например, к Карскому морю. Так, если путь центра циклона проходит с запада на восток где-то в районе мыса Желания, то в результате создается Новоземельская полынья; если же путь циклона проходит приблизительно по параллели Югорского Шара, то образуется полынья, вытянутая вдоль полуострова Ямал.

При подобных расчетах надо помнить, что при одной и той же силе ветра, но при различном количестве льдов продвижение кромки к берегу или к припаю как вследствие уплотнения, так и вследствие торошения не происходит с одной и той же скоростью. Чтобы уплотнить льды от 5 до 6 баллов, например, требуется значительно меньше вре-

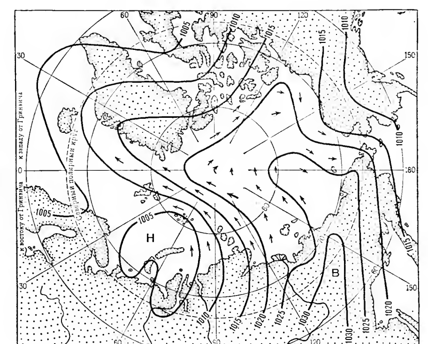


Рис. 27. Распределение атмосферного давления над Арктическим бассейном в январе 1939 г. и дрейф льдов (тонкие стрелки — направление движения льдов)

мени, чем для того, чтобы уплотнить льды от 8 до 9 баллов.

То же, понятно, относится к торошению.

В заключение надо напомнить, что наибольшие градиенты давления наблюдаются в малых по размерам и быстродвижущихся циклонах. Ветер при этом хотя и достигает большой скорости, но настолько быстро меняется по направлению, что влияние таких циклонов сказывается лишь в разломе и торошении ледяных полей, но не вызывает значительного дрейфа льдов. Аналогичное явление наблюдается и в открытом ото льдов море. Уже отмечалось, что быстродвижущиеся барические системы не способны создавать более или менее заметные морские течения. Их влияние сказывается главным образом в перемешивании поверхностных слоев океана.

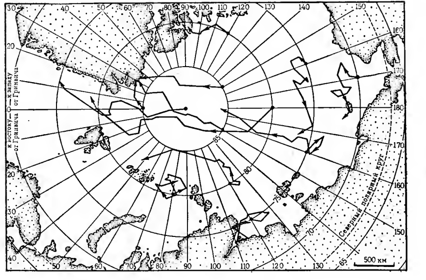


Рис. 28. Вычисленный дрейф арктических льдов в 1937 г.

Бюро погоды ежедневно составляются карты распределения атмосферного давления, и на них проводятся изобары. С этих карт нетрудно снять направление изобар и расстояния между ними в любой точке земной поверхности. Отсюда нетрудно рассчитать, с какой скоростью и в каком направлении движутся льды в любом районе Северного Ледовитого океана.

На рис. 27 показано среднемесячное давление атмосферы над Арктическим бассейном в январе 1939 г. и дрейф «Седова» за тот же месяц. Как видим, он точно совпадает с изобарой 1020 мб.

На том же рисунке показан дрейф льдов в различных районах Арктического бассейна за январь 1939 г. Из рисунка видно, что льды Центрального Арктического бассейна движутся не как одно целое, а с различной скоростью и по различным направлениям. Существуют зоны быстрого движения и зоны относительного покоя. Там, где стрелки сходятся, происходит сжатие льдов и торошение; там, где стрелки расходятся, льды разрежаются и между ледяными полями образуются разводья.

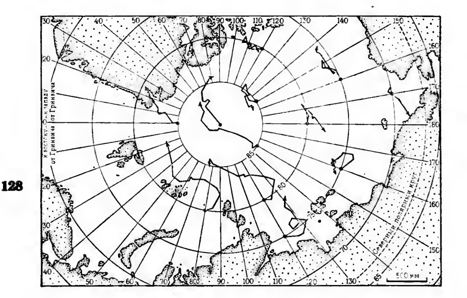


Рис. 29. Вычисленный дрейф арктических льдов в 1938 г.

Но распределение давления атмосферы над Арктическим бассейном меняется не только от месяца к месяцу или от сезона к сезону, но и от года к году. В связи с этим и циркуляция льдов, определяемая барическим рельефом, также изменяется от года к году, и притом в значительных пределах.

На рисунках 28,29 показан дрейф арктических льдов в 1937 и 1938 гг. Точками на этих рисунках показаны на 1 января соответствующего года положения льдин, за движением которых следилось до конца года. Дрейфы льдин были рассчитаны М. М. Сомовым по месячным картам давления атмосферы.

Разумеется, к приводимым картам надо относиться только как к весьма ориентировочным. При их составлении не принимались во внимание влияния течений и берегов. Эти карты, однако, дают представление о том, что в 1937 г. вынос льдов в Гренландское море был значительнее, чем в 1938 г.

Но главное, что дают эти карты, заключается в том, что ни о какой упрощенной схеме движения льдов по кратчай-

шим расстояниям не может быть и речи. Наоборот, следует допустить, что в Центральном Арктическом бассейне существует сложная система круговоротов, подвергающаяся значительным изменениям и во времени, и по пространству. Именно эта сложность дрейфа (особенно ее изменчивость во времени) обусловливает возникновение областей торошений и разрежений, областей застоя и повышенных скоростей дрейфа.

Зависимость дрейфа льдов от барической обстановки позволяет дополнить наши представления о природе течений Арктического бассейна.

Общая схема атмосферной циркуляции над Арктическим бассейном такова, что она обеспечивает в большей его части движение льдов по направлению к Гренландскому морю. Циркуляция льдов вовлекает в движение подстилающие их поверхностные слои воды. Работа ветра над всей площадью Арктического бассейна обусловливает, независимо от местных ветров, поверхностное течение, которое в Гренландском море усиливается господствующими здесь северными ветрами.

Надо добавить, что характер атмосферной циркуляции может изменяться от сезона к сезону и от года к году таким образом, что усиление дрейфа льдов может охватывать лишь отдельные районы. Например, усиление выноса льдов из района, прилегающего к Берингову проливу, может соответственно усилить поступление тихоокеанских вод из Берингова моря, но может и не отразиться на выносе льдов в Гренландское море и на поступлении атлантических вод.

Понятно, что если в своем движении арктические льды отходят от того или иного участка побережья, то на этом участке мы можем в течение лета ожидать благоприятных условий для мореплавания.

Вслед за отходом паковых арктических льдов от побережья усиливается вынос местных льдов, образовавшихся в окраинных морях. Наоборот, с продвижением паковых льдов к побережью вынос местных льдов прекращается. Бывает и так, что в окраинные моря заносятся льды из Центрального бассейна. Соответственно ухудшаются и условия плавания по Северному морскому пути.

Из этого видно, насколько важны новые правила для улучшения ледовых прогнозов, в первую очередь прогнозов долгосрочных. Действительно, следя по моему методу за движением отдельных массивов арктических льдов в течение зимы и весны, можно судить об общих ледовых условиях в предстоящей арктической навигации.

Не менее важны новые правила и для краткосрочных ледовых прогнозов, освещающих расположение льдов на отдельных участках Северного морского пути в течение навигации. Эти прогнозы основываются на наблюдениях метеорологических станций и на ледовой разведке, производимой во время арктической навигации самолетами и дозорными кораблями. Но наблюдения метеорологических станций охватывают только прибрежные участки моря, а наблюдения самолетов и кораблей не могут быть непрерывными и охватывать все районы. Здесь на помощь должна прийти непрерывная слежка с помощью найденного метода за движением ледяных полей по ежедневным картам погоды.

В этой возможности одно из больших практических достижений последнего времени. Это достижение оказалось возможным благодаря прекрасной работе замечательного коллектива советских полярников.

Полигон-70 (эксперимент в океане)

Похожи ли океан и атмосфера?

Если взглянуть на карту океанических течений, взятую из любого курса мореведения или из Морского атласа, то нетрудно заметить, что изображенной там общей циркуляции вод океанов придан четко выраженный струйный характер. Основные течения в океане (Гольфстрим, Куросио, Канарское, Северное пассатное и т. д.) подобно гигантским рекам переносят огромные массы воды на тысячи километров.

Наше представление о движении воздуха в атмосфере намного сложнее. Хотя мы знаем о существовании таких устойчивых ветров, как пассаты в тропиках, мы уже свыклись с вихревой крупномасштабной структурой воздушных потоков на обширных пространствах умеренных и высоких широт и относимся к статистическому представлению поля ветра на картах (например, «розы ветров») как к чему-то само собой разумеющемуся. Циклоны и антициклоны не вызывают у нас удивления, так же как не удивляет нас и внезапная смена направления ветра в Москве или Ленинграде с западного на северное или восточное, хотя мы хорошо осведомлены о существовании среднего переноса воздуха с запада на восток в этих широтах.

Соответствует ли такое различие наших представлений истинному различию в поведении океана и атмосферы?

В последнее время ученые стали подозревать, что это не так. Дело в том, что все прежние сведения о течениях в океане были получены главным образом косвенными методами (снос кораблей, дрейф плавающих предметов, динамический метод расчета и т. д.). И вот накапливающиеся данные наблюдений посеяли сомнения в достоверности наших прежних знаний о течениях и океане. Классические концепции не выдерживали сопоставления с результатами длительных измерений с якорных буйковых станций. Такие работы были начаты в нашей стране по инициативе В. Б. Штокмана. Скромный эксперимент на

Черном море (1956) дал первые сведения об изменчивости течений, измеренных на разных горизонтах в одной точке. Эксперимент продолжался всего один месяц. Последовали и более длительные эксперименты с нескольких буев, где применялась современная техника: советские — в Северной Атлантике (1958) и в Индийском океане (1967), американские — в районе Гольфстрима (начаты в 1963 г. и продолжаются по сей день).

Проведенные наблюдения давали основание предполагать, что в открытом океане крупномасштабные вихревые образования действительно играют важную динамическую роль в общем балансе завихренности движения. Получалось так, что вопреки ожиданиям океан может оказаться весьма схожим с атмосферой, где такие вихревые «возмущения», как циклоны и антициклоны, обладают большей энергией, чем результирующий средний перенос. Так начало зарождаться новое представление об океане как о среде, в которой крупномасштабная турбулентность является преобладающим видом движения, требующим статистического описания. Стала выкристаллизовываться и новая методика изучения изменчивости океанских течений: вместо разовых измерений в отдельных точках — сети якорных буйковых станций, которые устанавливаются на длительный период времени в определенных, специально выбранных участках океана («полигонах»). При этом неодинаковые расстояния между станциями, а также длительность и частота измерений соответствуют интересующим исследователя пространственным и временным масштабам движения. Такие измерения позволяют изучить распределение энергии по спектру движений различных частот и масштабов, что дает возможность выяснить природу различных вихрей и их роль в динамике общей циркуляции вод океана.

Как был поставлен эксперимент

В 1970 г. советские океанологи сосредоточили корабли, измерительную технику и научный персонал для продолжительного эксперимента. В Атлантическом океане выбрали квадрат (длина стороны—около 200 км) с центром в точке 16° 30′ с. ш. и 33° 30′ з. д. Здесь в течение шести месяцев (февраль—сентябрь) с 17 якорных буйковых станций непрерывно измерялись течения и другие гидрофизические характеристики. Программа основных исследований была разработана в Институте океанологии АН СССР

академиком Л. М. Бреховских (руководитель эксперимента), профессором А. С. Мониным, профессором В. Г. Кортом, сотрудниками института Л. М. Фоминым, М. Н. Кошляковым, А. Д. Ямпольским, К. Н. Федоровым, Г. Н. Ивановым-Францкевичем, В. Г. Нейманом и др. Большинство приняли затем непосредственное участие в эксперименте. На полигоне работало шесть современных научно-исследовательских судов: «Дмитрий Менделеев», «Академик Курчатов», «Андрей Вилькицкий», «Сергей Вавилов», «Петр Лебедев», «Академик Вернадский». Исследования на полигоне возглавил Институт океанологии АН СССР.

Место для полигонов выбирали очень тщательно. Относительно спокойный рельеф дна, достаточное удаление от берегов и гидрологических фронтов, устойчивые ветры — все это соответствовало нашим представлениям об условиях открытого океана. А течения? Мы полагали (опираясь на средние климатические данные), что именно здесь проходит устойчивое Северное пассатное течение, направленное на запад (рис. 30).

Была тщательно разработана методика наблюдений. Так как наши измерители течений не могли действовать без перезарядки более 28 суток, то через каждые 25 суток их заменяли, т. е. одну автономную станцию поднимали на борт и почти в то же место ставили другую. Конечно, в океане невозможно обеспечить постановку станции строго в одной и той же точке. Глубина места (около 5000 м) требовала, чтобы новые станции располагались на расстоянии не менее 2—3 миль от старых. Причем каждая новая станция начинала работать за несколько часов до подъема предыдущей: ряды наблюдений не должны были прерываться. Таким образом, записи течений и температуры получались с перекрытием.

Всю работу с буйковыми станциями проводили с трех судов: «Дмитрий Менделеев», «Академик Курчатов» и «Андрей Вилькицкий». Вполне естественно, что не все и не всегда шло гладко, и, хотя к концу эксперимента выработалась весьма эффективная техника буйковых перестановок, все же бывало, что из-за погоды или других причин буи срывались. Тогда приходилось искать их в океане, объединяя усилия нескольких судов. А чтобы этого по возможности не случалось, проводили систематическую инспекцию буйковой сети: с судов экпедиции тщательно уточняли координаты каждой станции, следили за техническим состоянием буев. Время от времени суда уходили с полигона заправиться топливом и пополнить запасы про-

довольствия. В районе работ оставалось одно дежурное судно, которое продолжало инспекцию, перестановку буев, дополнительные научные наблюдения. «Дмитрий Менделеев» и «Академик Курчатов» провели в океане почти семь месяцев, правда, в середине срока они заходили в Калининград, где частично сменился научный персонал экспедиции. «Андрей Вилькицкий» провел на полигоне полгода, не возвращаясь на Родину.

В марте на борту «Академика Курчатова» собрались иностранные коллеги. Ученые привезли с собой автономные регистраторы течений различной конструкции. Интересно было выяснить, как влияют конструктивные особенности и погрешности разных приборов на регистрируемые характеристики течений, а также на результаты статистического анализа. Для этого на полигоне недалеко друг от друга было выставлено четыре дополнительных буя. 14 суток функционировали приборы различных систем и конструкций: конструкции Алексеева (СССР), Аандераа (Норвегия), «Плесси» (Великобритания), Института мореведения в Варнемюнде (ГДР), «Джеодайн» и «Брейнкон» (США).

Рис. 30. Гидрофизический полигон (черный квадрат) в Атлантическом океане. Стрелки показывают средние многолетние направления течений; жирные стрелки — наибольшие скорости течений

Работали в море буйковые станции, а в это время с судов велись самые разнообразные гидрофизические и метеорологические измерения. Важно было выяснить, как изменяются океанографические и метеорологические характеристики в широком диапазоне — от нескольких сантиметров до сотен километров (в пространстве) и от секунд до нескольких месяцев (во времени). Такие наблюдения стали возможны благодаря новым отечественным приборам. Термосолезондом регистрировали изменение температуры и солености воды по

вертикали; буксируемым термотралом изучали неоднородности температурного поля в верхних слоях океана. Применяли турбулеметры, акустические приборы и другую новую технику.

Нетрудно представить, каков был массив получаемой информации. Обрабатывать его нужно было сразу в море. С этой задачей справились вычислительные центры кораблей «Дмитрий Менделеев» и «Академик Курчатов». Сюда стекался весь поток гидрофизической информации, здесь проводилась первичная обработка результатов измерений, а также их частичный анализ. Это помогало осмысливать получаемую информацию, контролировать эксперимент и вносить коррективы в научную программу. Последнее было особенно легко в тех случаях, когда записи приборов поступали непосредственно в кодах, читаемых вычислительной машиной. На этом принципе, например, работал цифровой термосолезонд.

Гидрофизический эксперимент на полигоне в тропической Атлантике был первой крупной отечественной экспедицией, где в полном объеме использовалась современная вычислительная техника. Достаточно сказать, что первичная обработка всех результатов наблюдений (миллионы измеренных величин) была закончена еще в океане. Но анализ наблюдений будет продолжаться еще долго.

В настоящее время мы располагаем результатами лишь выборочного анализа данных. Но уже и этот материал свидетельствует о том, что многомесячный труд советских океанологов не был напрасным. Новые сведения о течениях, внутренних волнах, тонкой структуре термохалинного поля, турбулентности, полученные на полигоне, существенно уточнят наши представления о динамике вод океана.

Изменчивость среднего переноса

Рассказ о научных итогах эксперимента можно начать с того, что не было обнаружено ничего похожего на устойчивое Северное пассатное течение. В первые 10—20 дней эксперимента течение во всей толще, охваченной наблюдениями (до 1500 м), было направлено на восток, т. е. противоположно «классическому» Северному пассатному течению. В дальнейшем оно резко и неоднократно меняло направление на всех горизонтах, причем периоды устойчивости потоков одинакового направления колебались от одной до шести недель. И это происходило в пассатной зо-

не, издавна считающейся областью наиболее устойчивых движений в атмосфере и океане!

Только результирующий перенос за весь период наблюдений на большинстве горизонтов имел западную составляющую. Об изменчивости течений на полигоне наглядно свидетельствуют прогрессивно-векторные диаграммы (рис. 31). Прогрессивно-векторные диаграммы — это воображаемые траектории частиц жидкости, какими они были бы в условиях пространственно-однородного течения. Если сравнить такие диаграммы для течений, наблюдавшихся в центре полигона и в точке № 4 на глубине 50 м, то мы не найдем никакого сходства между ними. Так, в центральной точке с 10 до 20 марта наблюдался южный перенос, а в точке № 4 (всего на 32,5 мили к востоку) — северо-восточный. На глубине 300 м характер изменения течений в тех же самых точках почти одинаков. Однако смена направления потоков (с восточного на за-

Рис. 31. Прогрессивно-векторные диаграммы для горизонтов 50, 300 и 500 м (сплошные линии — течения на станции № 1; пунктирная линия — течения на станции №4, удаленной от первой на 32,5 мили к востоку. На глубине 50 м с 10 по 25 марта общий поток направлен на юг; с 25 марта по 1 апреля — на запад; с 25 мая по 30 июня — на восток; с 1 по 30 июля — на север (черные стрелки). На горизонте 300 м резкая смена течения произошла 20 марта на станции № 4, а 23 марта — на станции № 1. На глубине 1500 м течения столь же непостоянны

падное) в этих двух точках произошла в разное время — запаздывание составляет примерно трое суток.

Чем же объяснить наблюдавшуюся изменчивость среднего переноса? Если предположить, что такая изменчивость вызвана крупномасштабными вихревыми возмущениями, перемещавшимися через полигон, то надо вообразить вихри с поперечником около 200—400 км, которые сравнительно медленно движутся с востока на запад. Для того чтобы сместиться на длину поперечника, им потребовалось бы от одной до трех недель. (Циклоны и антициклоны в атмосфере поперечником около 1000 км проходят через точку наблюдения, как правило, за трое-четверо суток.)

Возмущения, которые могли бы обусловить наблюдавшуюся изменчивость океанских течений, по своим размерам больше всего похожи на бароклинные волны Россби, впервые открытые в атмосфере. Это планетарные волны, связанные с изменением Кориолисова ускорения с широтой. Их присутствие в океане было теоретически предсказано, но наблюдать волны Россби там до сих пор не удавалось. Заметим, что волны Россби в соответствии с теорией распространяются с востока на запад. Возмущения, обнаруженные на полигоне, перемещались в том же направлении.

Наблюдения показали, что вектор среднего течения вращается по мере удаления от поверхности. Это происходит не только в слое трения, где его вращение объясняется известной теорией Экмана, но и дальше, вплоть до самых глубинных горизонтов. От слоя к слою правое вращение чередуется с левым. Эксперименты на полигонах (в Индийском океане и в Атлантике) убеждают в том, что чередование вращения зависит от вертикального распределения плотности воды, за счет которого изменяется с глубиной и горизонтальный градиент давления.

Инерционные и приливные течения — плоские колебания или трехмерные внутренние волны

Много интересных особенностей было обнаружено в характере течений на полигоне. Одно из них — колебания с инерционной и приливной частотами. На полученных спектрах изменчивости течений им соответствуют хорошо выраженные энергетические пики. Инерционные колебания —

это свободное круговое движение жидкости на вращающейся Земле после прекращения действия силы, вызвавшей первоначальное движение. Именно поэтому период инерционных колебаний связан с продолжительностью маятниковых суток или с Кориолисовой частотой ($2\omega \cdot \mathrm{Sin}\varphi$). Если из суммарного течения исключить приливную и более высокочастотные компоненты, оставив только сумму среднего переноса и инерционной компоненты, то можно наблюдать на графике правильные инерционные орбиты.

Наблюдения показали, что в переслоенном океане период инерционных колебаний иногда оказывается короче расчетного. Этот факт подтверждает теоретические соображения о взаимодействии колебаний в инерционно-гравитационном интервале частот. В результате горизонтальной неоднородности инерционного движения в нем (по условию неразрывности среды) появляется вертикальная составляющая и в действие вступает сила тяжести. В среде с плотностной стратификацией сила тяжести может вызвать собственные колебания лишь относительно высокой частоты, которые, взаимодействуя с инерционными, повышают их частоту и сокращают период.

Пока еще нельзя сказать точно, какие факторы повинны в инерционных колебаниях течений на полигоне. Недавние исследования, проведенные за рубежом, показывают, что возбудителями и гасителями инерционных колебаний могут быть изменения касательного напряжения ветра с частотами выше инерционной. Ежечасные наблюдения за ветром, которые выполнены на полигоне, помогут проверить эту гипотезу. Пока можно указать лишь на то, что инерционные пики обнаружены практически на всех полученных спектрах изменчивости течений в районе полигона, хотя сами инерционные колебания течений оказались весьма непостоянными. Они могут внезапно прекращаться и возникать на разных горизонтах и в разное время.

Любопытные результаты дало сравнение распределения по глубине кинетических энергий среднего (квазистационарного) течения, инерционной компоненты и приливной составляющей. Энергия среднего движения быстро убывает с глубиной между горизонтами 50 и 100 м. Это происходит по двум причинам: во-первых, чисто дрейфовое течение ограничено поверхностным слоем толщиной около 100 м; во-вторых, скорость геострофического течения с глубиной уменьшается за счет эффекта переслоенности океана.

Очень резко выражен максимум энергии 36-часовых ко-

лебаний инерционного происхождения на глубине 100 м — там, где наибольший вертикальный градиент плотности. Нельзя не связать эту любопытную особенность с сокращением периода колебаний до 36 часов (вместо расчетного периода, равного 42 часам на широте полигона). Эти колебания, хотя и имеют инерционное происхождение, ведут себя как трехмерные внутренние гравитационные волны. В принципе, колебания с правильной инерционной частотой должны вести себя иначе. Так это или не так — покажет дальнейший анализ наблюдений.

В соответствии с классической теорией приливов можно было ожидать, что приливная составляющая будет иметь одинаковую энергию на всех горизонтах. Однако наблюдаемая зависимость распределения энергии приливных течений от плотностной стратификации с максимумом на глубине 100 м заставляет думать, что и приливные колебания тоже подчиняются динамике трехмерных внутренних волн. Некоторые другие наблюдения могут быть истолкованы как косвенные доказательства этого предположения: в спектрах флуктуаций температуры воды для отдельных горизонтов хорошо выражен максимум энергии на частоте полусуточного прилива. Хотя этот максимум и мог быть вызван вертикальными движениями приливной частоты, для его объяснения можно предложить и другие гипотезы.

Движения и изменчивость малых масштабов

Рассматривая движения малых масштабов, следует обратить внимание на внутренние волны с периодом около 15—20 мин. Они вносили значительную долю в изменчивость полей температуры и солености в районе исследований. Для точного определения всех параметров внутренних волн на горизонте 100 м применялась оригинальная методика: одновременно в трех точках (с носа и кормы судна «Петр Лебедев», а также по траверзу на расстоянии 245 м) регистрировали ход температуры воды. В результате получили следующие параметры волн: длина — 480 м, период — 18,6 мин, фазовая скорость — 43 м/сек, амплитуда — около 15 м. Похожие внутренние волны обнаружены и другими методами. Так, следы таких волн отчетливо видны на записях температуры, полученных фототермографами. Регистрация производилась через каждые 5 мин.

Применение новых приборов (к ним прежде всего относится термосолезонд «Аист» конструкции Института океанологии АН СССР) позволило заглянуть в другие процессы малого масштаба, а именно в процессы вертикального конвективного перемешивания. Они охватывают слои толщиной от нескольких десятков сантиметров до 20—25 м. Изучив их, можно подойти к правильному пониманию роли молекулярной диффузии тепла и соли в морской воде. Во время эксперимента на полигоне, по существу впервые в условиях реального океана, детально наблюдались явления, исследовав которые, можно перебросить «мостик» между молекулярным и турбулентным перемешиванием.

Эту проблему сначала решили в лаборатории. Для того чтобы понять роль молекулярной диффузии в возбуждении конвекции в устойчиво стратифицированных средах, Г. Стоммел, Дж. Тэрнер и М. Стерн искусственно создавали условия, при которых и соленость и температура убывали с глубиной. Для этого осторожно наливали подогретый рассол на поверхность холодной воды меньшей солености, но большей плотности. Оказалось, что потенциальная энергия, заложенная в получающемся при этом вертикальном распределении солености, может превращаться в кинетическую энергию ячеистой конвекции даже вопреки стабилизирующему эффекту разности температур. Такую конвекцию назвали «солевые пальцы». Она тесно связана с различием в скоростях молекулярной диффузии тепла и соли в воде.

Можно предположить следующую последовательность процессов, которая должна быть справедлива и для океана. Тепло, диффундируя в 100 раз быстрее соли, создает в слое воды, в котором и соленость и температура убывают с глубиной (стермохалоклине), неустойчивость в микромасштабе — сантиметры или доли сантиметра, а этого уже достаточно для возникновения «солевых пальцев». Постепенно ячеистая конвекция должна создавать неустойчивые слои более крупного масштаба, в которых будет развиваться обычная конвективная турбулентность, а на ее фоне в океане может возникать и турбулентность динамического происхождения. Не исключено, что в океане бывает и обратный ход процессов, т. е. механизмы более крупного масштаба (динамическая турбулентность) создают условия, благоприятные для развития процессов меньшего масштаба, в частности в условиях термохалоклина,—для развития «солевых пальцев».

Условия на глубинах 100—700 м в районе полигона можно назвать типичным слабоустойчивым термохалокли-

ном. Поэтому можно было рассчитывать найти там следы перемежающейся конвективной и динамической турбулентности. Наблюдения термосолезондом обнаружили в этих пределах глубин многочисленные слабые инверсии температуры (до 0,2 — 0,3°С), резкие скачки, ступеньки или серии ступенек в распределении температуры и солености. Удивительной оказалась способность этих элементов микроструктуры к регенерации: только что наблюдали температурную инверсию, а через несколько часов или даже минут перед нами однородный слой или ступенька, а подчас и просто ровный, невозмущенный термохалоклин. Проходит несколько часов — и снова та же инверсия или ступенька в том же диапазоне глубин и в тех же пределах температуры и солености.

Перемежающиеся появление и исчезновение элементов микроструктуры, их трансформация и регенерация наблюдались в отдельных районах полигона в течение многих суток. Все это, по-видимому, подтверждает высказанное выше предположение о сложном конвективно-турбулентном режиме термохалоклина. Можно предполагать, что образование таких элементов микроструктуры, как температурные инверсии, связано с конвективными процессами, а их исчезновение («размывание») — с динамической турбулентностью. Динамической турбулентностью может быть объяснено и появление однородных по вертикали слоев в термоклине.

Интересны результаты двух «микромасштабных» съемок, выполненных термосолезондом в квадратах 15×15 и 10×10 миль. Станции, на которых зондировали температуру и соленость, располагались равномерно по квадратам на расстоянии всего 2,5 мили друг от друга. Оказалось, что горизонтальные размеры наблюдавшихся структурных элементов колеблются от 5 до 15 км при толщине от 3 до 25 м. Поэтому трудно представить, что они могли образоваться в процессе разрушения коротких внутренних волн.

Следует еще упомянуть об изучении турбулентности с помощью измерений скорости звука и температуры («Петр Лебедев»), а также микрофлуктуаций скорости течений («Академик Вернадский»). Обнаружены сильная перемежаемость турбулентных флуктуаций и их малая корреляция на соседних горизонтах, большие различия в характере изменчивости гидрофизических характеристик на расстоянии всего лишь 2 миль и за время около суток.

Мы рассказали лишь о самых первых результатах научного анализа малой доли того богатейшего фактического материала, который получен во время эксперимента на

полигоне. Безусловно, в ходе дальнейшего, более глубокого анализа многие гипотезы, выдвинутые сегодня, будут либо подтверждены, либо уточнены, либо заменены новыми. В любом случае наше знание физики океана значительно продвинется вперед. Мы ожидаем, что будут сформулированы новые вопросы и поставлены научные проблемы, требующие новых экспериментов в океане. Для новых плодотворных встреч с океаном необходимо совершенствовать инструментальную базу и методику изменений. Вполне логично думать, что опыт проведения длительного гидрофизического эксперимента 1970 г. поможет организовать стационарную сеть буйковых станций как основу глобальной службы океанической «погоды». Над созданием такой службы уже работает Межправительственная океанографическая комиссия ЮНЕСКО.

Земная твердь океанических глубин

Дно океана

Планетарные морфоструктуры

144 В последнюю четверть века благодаря повсеместному внедрению эхолотов в практику глубинного промера, широчайшему развитию океанологических исследований вообще и морской геофизики в частности перед учеными стали вырисовываться основные черты строения подводного мира. Среди комплекса наук, интенсивно изучающих сейчас дно океана, значительное место принадлежит геоморфологии — науке о рельефе планеты Земля, ибо геоморфологические данные о морском дне — та основа, на которой строятся наши гипотезы об общих чертах строения литосферы, скрытой под водами Мирового океана.

В лаборатории морской геоморфологии (географический факультет Московского государственного университета), которой руководит автор этих строк, недавно были выполнены работы по определению площадей дна, расположенных в пределах определенных интервалов глубин — батиметрических ступеней, и построены суммарные кривые распределения глубин — батиграфические кривые (рис. 32). На основе этих данных видно, что большая часть океанского дна (более 54 %) лежит на глубинах более 4 тыс. м, выявляется также общее сходство распределения глубин в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах. Однако информация о строении дна океана, содержащаяся в батиграфических кривых, имеет слишком общий характер, и, пользуясь ею, мы еще не в состоянии выделить основные элементы рельефа дна. Такую задачу можно осуществить, привлекая другие средства, а именно конкретные сведения о рельефе отдельных морей и океанов и их сравнительный анализ, а также геофизические данные, позволяющие судить о различиях в строении земной коры под теми или иными частями океанского дна.

Крупнейшими элементами рельефа дна Мирового океана являются подводные окраины материков, ложе океана, переходные зоны и срединно-океанические хребты. Бла-

годаря глобальному распространению этих элементов рельефа и своеобразию их геологической структуры они называются планетарными морфоструктурами поверхности Земли (см. рис. 33).

Подводные окраины материков представляют собой затопленные части материковых выступов — крупнейших положительных элементов рельефа земной поверхности. Они располагаются, как правило, в интервале сравнительно небольших глубин — от 0 до 3—3,5 км, сложены земной корой материкового типа, отличающейся большой средней мощностью — около 35 км (максимальная мощность — до 60—80 км) — и так называемым гранитным слоем в ее разрезе. Подводная окраина материков имеет площадь 81,5 млн. кв. км, переходная зона — 30,7, ложе океана — 193,8, срединно-океанические хребты — 55,2 млн. кв. км. В процентах от общей площади океана это составляет соответственно 22,6; 8,4; 53,7; 15,3%. В подводной окраине материка каждого из океанов обычно различают шельф, материковый склон и материковое подножие.

Всеобщий интерес к изучению шельфа, особенно возросший за последние десятилетия в связи с перспективами эксплуатации его минеральных ресурсов, казалось бы, избавляет от необходимости давать здесь его определение; однако в понимании термина «шельф» нередко допускаются неточности и ошибки. Нам представляется, что шельфом следует называть прибрежные относительно выровненные участки дна, характеризующиеся общностью структуры с прилегающей сушей. Например, обширные подводные равнины, окаймляющие Евразиатский континент с севера, в геологическом и геоморфологическом отношении непосредственно продолжают Русскую равнину, Западно-Сибирскую низменность и Приморскую низменность Северо-Востока, а широкое мелководье Мексиканского залива представляет собой затопленную часть прибрежной моноклинали. Общая площадь шельфа в Мировом океане составляет более 31 млн. кв. км.

Материковый склон — это зона океанского дна, непосредственно примыкающая к внешней стороне шельфа. Здесь характерно значительное возрастание уклонов поверхности при общем наклоне в сторону океана, а также сильное расчленение секущими ее ложбинами — подводными каньонами. Сейчас внимание к подводным каньонам усилилось, поскольку обнаружилась их отрицательная роль в балансе наносов береговой зоны. На некоторых побережьях (например, у кавказского побережья Черного

моря) вершины подводных каньонов подходят почти вплотную к берегу и перехватывают прибрежные наносы, тем самым способствуя разрушению берега волнами. Более общее значение подводных каньонов заключается в том, что по ним движутся мутьевые потоки, которые переносят осадки из шельфовой зоны океана в глубоководную. Осадки, отлагаясь у основания материкового склона, образуют здесь мощные толщи третьего элемента подводной окраины материка — материкового подножия. В большинстве случаев это наклонная аккумулятивная равнина, постепенно

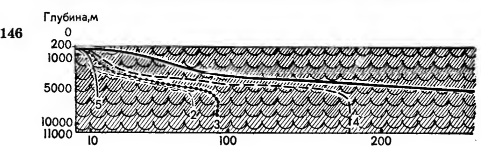


Рис. 32. Батиграфические кривые океанов: Мирового океана — 1; Индийского — 2; Атлантического — 3; Тихого — 4; Северного Ледовитого — 5. Большое сходство батиграфических кривых всех океанов, кроме Северного Ледовитого, косвенно свидетельствует о сходном их происхождении. Резкое отличие батиграфической кривой Северного Ледовитого океана, видимо, свидетельствует о том, что этот океан по существу представляет собой лишь крупный залив Атлантического океана

выполаживающаяся вниз по склону. Значительно реже материковое подножие — пограничная зона между материковым склоном и ложем океана — представлено глыбовым горным рельефом.

С внешней стороны материковое подножие граничит с ложем океана, его самой глубоководной частью, занимающей большую площадь (более 53 %). Ложе характеризуется чередованием огромных котловин и разделяющих их хребтов и возвышенностей. Эта планетарная морфоструктура сложена земной корой океанического типа. Она отличается малой толщиной (обычно менее 7—8 км, в большей части — менее 5—6 км) и не имеет гранитного слоя. Здесь под осадками и вулканогенно-осадочными породами залегают плотные так называемого базальтового слоя породы земной коры, которые подстилаются верхней мантией Земли.

Океаническое ложе имеет расчлененный и разнообразный рельеф. В тех частях котловин, которые примыкают к материковому подножию, нередко располагаются плоские равнины, сложенные мощной толщей донных осадков. Они сменяются волнистым или холмистым рельефом, часто встречаются здесь и отдельные подводные горы, которые иногда поднимаются над окружающим дном на 5—6 км, так что вершины их выступают над уровнем моря как острова.

Котловины в большинстве случаев огромны, например площадь Северо-Восточной котловины Тихого океана больше площади Северной Америки. Они разделены океаническими поднятиями различного строения. Среди них есть такие, которые образуют единую планетарную систему грандиозных сооружений, тянущуюся из океана в океан. Это срединно-океанические хребты. Другие поднятия представляют собой гигантские сводообразные вздутия океанской коры протяженностью несколько тысяч, а шириной несколько сотен километров при относительной высоте до 5 км и более. Большинство таких поднятий, которые можно назвать океаническими сводообразными валами, служат основанием для различных групп океанических островов. Обычно вдоль гребней сводообразных валов протягиваются цепочки вулканов. Наиболее грандиозный Гавайский вал увенчан грядой вулканических Гавайских островов. Высота одной из надводных вершин — Мауна-Лоа — около 4200 м, что при глубине у подножия хребта 6000 м дает относительное возвышение этого хребта более 10 000 м. Кроме Гавайев известны и другие океанические острова с действующими или недавно потухшими вулканами (например, Реюньон в Индийском океане, острова Таити и Кука в Тихом океане).

300 350 360
Площадь, тыс. км

Встречаются океанические хребты и с иным строением. Они представляют собой более или менее вытянутые блоки океанической земной коры, как бы выкроенные по системам разломов и поднятые относительно прилегающих пространств океанского дна. Такие хребты называют глыбовыми. Нередко вдоль их подножия тянутся очень глубокие ложбины. По небольшим глыбовым хребтам и сопровождающим их сбросовым впадинам, или «трогам», в пре-

делах ложа океана прослеживается ряд крупнейших зон разломов. Они пересекают почти все планетарные структуры. Например, Тайвань-Каролинская система разломов сечет и ложе океана, и переходную зону. Некоторые из этих разломов удается наблюдать и в пределах континентов.

Среди подводных гор океанского ложа привлекают внимание горы с высоко поднятыми и отмершими коралловыми рифами, а также гайоты — плосковершинные подводные горы. Встречаются горы, увенчанные современными рифовыми постройками.

Еще Ч. Дарвин отмечал, что коралловые рифы представляют собой прекрасный индикатор вертикальных движений земной коры в области океана. О. К. Леонтьевым, С. А. Лукьяновой, В. П. Медведевым в 1974 г. была разработана классификация коралловых островов, которая помогла выяснить направление и интенсивность вертикальных движений земной коры. Применение этой классификации к анализу земной коры в пределах ложа океана показало, что здесь не только днища котловин, но и положительные формы рельефа — горы, горные хребты и валы — испытывают главным образом опускание, т. е. отрицательные движения земной коры. Если бы не было вертикальных движений, невозможно было бы объяснить, почему (судя по результатам бурения на коралловых островах) мощность коралловых известняков достигает 1300 м, хотя рифообразующие кораллы по условиям их обитания не могут жить на глубинах более 50 м. Любопытно, что средняя глубина над вершинами гайотов также составляет около 1300 м. Заметим, что плоские вершины гайотов могли образоваться лишь тогда, когда они были примерно на уровне моря или выше. Значит, с тех пор гайоты, как и коралловые постройки, испытали погружение в среднем на 1300 м. Палеонтологические данные показывают, что эта величина характеризует погружение за период со времени эоцена, т. е. примерно за 60 млн. лет.

Не везде материковые выступы непосредственно граничат с ложем океана. На большей части окраин Тихого океана переход от океана к материку имеет более сложный характер. Здесь поверхность литосферы состоит из глубоких котловин окраинных морей (типа Берингова или Охотского), островных дуг — вулканических хребтов, вдоль гребней которых обычно протягивается гирлянда островов, и глубоководных желобов — узких депрессий, как правило располагающихся с внешней стороны островных дуг. К желобам и приурочены максимальные глубины Ми-

рового океана. Всю эту планетарную морфоструктуру называют переходной зоной. В отличие от спокойных подводных окраин материков, которые испытывают слабое погружение, и от ложа океана в переходных зонах протекают напряженные тектонические процессы. Здесь часты разрушительные землетрясения и извержения современных вулканов, резко дифференцированы вертикальные движения земной коры. Здесь наблюдается максимальная на земном шаре контрастность рельефа: рядом с глубокими впадинами в 10—11 км возвышаются горные вершины до 5 км. Строение земной коры также отличается большой неоднородностью. Сейсмические исследования показывают, что под котловинами окраинных или средиземных морей (типа Черного моря) земная кора имеет сходное строение с океанической, отличаясь от нее лишь большой мощностью осадочного слоя. Под зрелыми островными дугами (например, под Японскими и Филиппинскими островами) залегает материковая земная кора, а под глубоководными желобами — океаническая или субокеаническая.

Сравнительный морфологический анализ различных частей переходных зон показывает, что они составляют довольно закономерный морфогенетический ряд. Так, есть переходные области, представленные только глубоководным желобом, например желоб «Витязя», не сопровождающийся островной дугой («Земля и Вселенная», 1974 №1, стр. 22—26), а другие области, например Марианская, имеют четко выраженный и очень глубокий желоб и островную дугу, преимущественно подводную, с мелкими островами. Если же мы обратимся к Курильской или Алеутской островным дугам, то увидим, что желоба здесь менее глубоки, а в пределах островных дуг наблюдаются уже относительно крупные острова, причем некоторые из них сложены материковой корой. Еще более «зрелыми» выступают системы Японских, Филиппинских и Больших Антильских островов. Суша здесь образует обширные островные массивы с типичной материковой корой (например, Куба, за исключением ее самой южной части). Наконец Средиземноморская переходная область отличается резким преобладанием пространств с материковой земной корой. В Средиземном море сохранился в виде реликта лишь небольшой и относительно неглубокий желоб (у южного края острова Крит). Субокеаническая кора сохранилась здесь лишь отдельными пятнами в центральных частях котловин. Таким образом происходит как бы постепенное нарастание «материкового элемента» по мере смены одного типа переходной зоны другим. Наряду с этим наблю-

даются также закономерные изменения вулканической и тектонической интенсивности: вулканизм, тектоническая подвижность, частота и сила землетрясений то достигают максимума (в Курильско-Камчатской области), то ослабевают (в Средиземном море). Таким образом, складывается впечатление, что именно в переходной зоне формируется материковая кора и что по мере развития этого процесса и усиления материкового элемента напряженность тектонических сил постепенно ослабевает. Материковые платформы, где формирование материковой коры завершено, тектонически стабильны.

Одним из величайших открытий в науках о Земле за по-
150 следние 15 лет лет было открытие планетарной системы срединно-океанических хребтов. Это гигантские сводовые вздутия земной коры с рифтовой структурой. Для рифтовых зон характерна повышенная плотность пород, что обусловлено особым типом земной коры, состоящей из смеси океанической (базальтовой) коры и материала верхней мантии. Такой вывод подтверждается и теоретическими соображениями, и находками ультраосновных пород.

Образование срединно-океанических хребтов, таким образом, сопровождается не только преобразованием рельефа, но и существенным изменением состава земной коры. Подавляющее большинство исследователей считает, что и образование срединных хребтов, и внедрение пород верхней мантии в базальтовый слой земной коры происходят в результате зонального вздутия и сопровождающего его растяжения земной коры с последующими разрывными деформациями. Срединно-океанические хребты тектонически активны: здесь развит современный вулканизм и сосредоточены эпицентры землетрясений, что отражает высокую напряженность тектонических процессов.

Вопрос о причинах тектонических и горообразовательных движений земной коры в срединно-океанических хребтах остается неясным, как, впрочем, неясен вопрос и о причинах геосинклинальных процессов, протекающих в переходных зонах. Но так или иначе, это процессы, «корни» которых находятся где-то в глубоких недрах нашей планеты и которые могут проецироваться на земную поверхность необязательно в океанах. Действительно, в ряде случаев образование рифтовых структур происходит и в пределах материков, причем чаще всего на продолжении срединно-океанических хребтов. К такого рода структурам относятся Аденский залив и Красное море—как бы зияющие, широко раскрытые трещины в Африкано-Аравийской

материковой платформе, рифты Восточной Африки, «омоложенные» горные сооружения Дальнего Запада Северо-Американского континента.

Силы, формирующие рельеф океанского дна

Пока мы говорили о вулканах и землетрясениях, о тектонических движениях, изменяющих земную кору под океанами и создающих крупнейшие формы его рельефа. Но рельеф поверхности планет земной группы формируется в результате одновременного воздействия (и взаимодействия) трех видов сил — космических, экзогенных и эндогенных.

Мы не будем касаться вопроса о весьма проблематичной роли космических сил в формировании рельефа дна Мирового океана. Что касается экзогенных факторов, то до недавнего времени важнейшими из них считались морские волны, поверхностные течения и морские организмы. Крупнейшие формы рельефа создаются рифообразующими кораллами (коралловые рифы). На морское дно в пределах мелководья непосредственно воздействуют волны и поверхностные течения. Предполагалось, что огромные пространства дна, лежащие на батиальных (более 1000 м) и абиссальных (более 3000 м) глубинах, испытывают лишь воздействие осадочного процесса — медленного выпадения на дно моря мельчайших частиц, находящихся во взвеси в толще воды.

Однако условия поступления осадочного материала и выпадения его из взвеси не везде одинаковы. Большая часть этого материала образуется в результате разрушения пород, слагающих континенты. На шельфе, куда осадки с суши поступают прежде всего и где во́ды очень подвижны до самых придонных слоев, задерживается лишь часть материала, остальной же выносится за пределы шельфа. На крутом материковом склоне условия для отложения больших масс осадков также неблагоприятны. Благодаря возрастанию уклонов в этой зоне морского дна развиваются такие явления, как подводные оползни и мутьевые потоки, представляющие собой мощные механизмы переноса больших масс осадков с более высоких на более низкие гипсометрические уровни. Подвижность осадочного материала резко снижается в области материкового подножия. Здесь в течение многих десятков и сотен миллионов лет существования океана

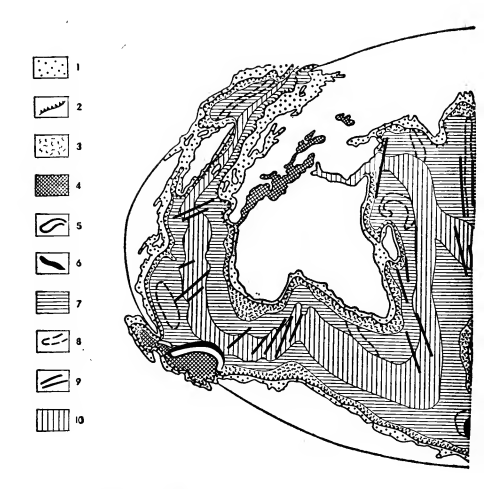


Рис. 33. Основные элементы рельефа и геологической структуры дна Мирового океана
Подводная окраина материков: 1—шельф, 2— материковый склон, 3 — материковое подножие;



Переходная зона: 4 — котловины окраинных и средиземных морей; 5 — островные дуги; 6 — глубоководные желоба; 7 — ложе океана; 8 — горные поднятия ложа; 9 — крупнейшие разломы; 10 — срединно-океанические хребты

накопились мощные (до нескольких километров) толщи осадков.

В пределы ложа океана попадает лишь небольшая доля продуктов разрушения суши. К этому осадочному материалу здесь примешиваются нерастворимые или труднорастворимые остатки морских организмов, вулканогенные продукты, а также различные частицы, образующиеся в результате химических процессов, протекающих в морской воде и на дне. Все эти частицы медленно перемещаются вместе с течениями, постепенно оседают на дно, образуя покров морских отложений, словно плащом покрывающий неровности коренного рельефа подводных котловин и поднятий. Некоторые обширные районы дна океана отличаются широким распространением биогенных осадков, а другие, например область действия Тихоокеанского экваториального течения,— переносом и отложением биогенного материала в пределах сравнительно узкой зоны. В результате здесь на дне образуется крупнейшая аккумулятивная форма рельефа — Восточно-Тихоокеанский экваториальный вал длиной до 3000 км, шириной до 500 км и относительной высотой до 1,5 км. По данным глубоководного бурения, эта гигантская донная аккумулятивная форма рельефа существует по крайней мере с палеогенового времени.

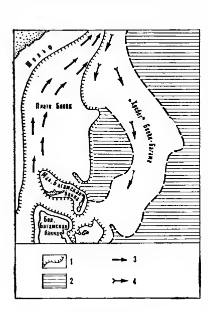


Рис. 34. Гигантская абиссальная аккумулятивная форма — «хребет» Блейк-Багама:
1—уступы материкового склона;
2—котлованы ложа океана;
3—направление Гольфстрима;
4—направление донного Пограничного течения

Подводное фотографирование глубоководных участков дна позволило установить, что донные течения оказывают существенное воздействие на рельеф океанского ложа. Большинство таких течений, имеющих среднюю скорость 15—30 см/сек, связано с растеканием холодных антарктических вод по дну океана и формированием

донных и глубинных водных масс Мирового океана. Там, где действует эрозия потоков донных вод, видны многочисленные ложбины, рассекающие шельф, видны материковый склон и материковое подножие Антарктиды. В Тихом и Атлантическом океанах эти течения проникают от экватора весьма далеко на север. Кроме того, в Атлантическом океане, вдоль его западной окраины выявлено Пограничное донное течение, которое имеет направление, противоположное Гольфстриму, и образовано стоком холодных вод Норвежско-Гренландского бассейна. Оно исследовано относительно лучше других донных течений. Пограничное донное течение переносит большие массы осадков, и там, где его скорость снижается и где поступает особенно много осадочного материала, строит огромные положительные формы рельефа, напоминающие гигантские береговые косы или пересыпи. Размеры этих структур таковы, что первоначально их принимали за хребты, например Ньюфаундлендский и Блейк-Багамский (рис. 34). Но, однако, данные сейсмоакустического профилирования и глубоководного бурения показали, что на самом деле это не «хребты», а гигантские насыпные формы рельефа.

Крупнейшие формы рельефа создают и мутьевые потоки. Огромные массы осадочного материала, переносимого в мутьевых потоках, осаждаются у самых устьев подводных каньонов, образуя гигантские накопления типа дельт или конусов выноса. Эти накопления поражают своими размерами (например, площадь конуса выноса подводного каньона Ганга лишь немногим меньше 1 млн. кв. км). Наклонные аккумулятивные равнины материкового подножия представляют собой слившиеся многочисленные конусы выноса подводных каньонов.

Таким образом, экзогенные факторы — преимущественно различные течения — мощные созидатели океанского дна, и нередко их деятельность приводит к результатам, вполне сопоставимым с результатами тектонических процессов. Глубокое изучение природы и результатов деятельности экзогенных процессов на дне океана составляют одну из важнейших задач морской геоморфологии.

Три гипотезы о происхождении океанского дна

Весьма сложна и вместе с тем чрезвычайно заманчива задача выявления причин возникновения и закономерностей развития рельефа Мирового океана. Данная задача

перерастает чисто геологическую или геоморфологическую проблему, поскольку она представляет собой одну из проблем истории океана вообще, которая не ограничивается лишь рассмотрением развития литосферы в его пределах, но органически включает в себя проблемы истории и развития водной оболочки и жизни в океане.

Основываясь на космогонической гипотезе О. Ю. Шмидта, наиболее удовлетворяющей современным геологическим данным об истории Земли, ученые почти единодушно считают, что воды Мирового океана в своей основе являются продуктом дегазации вещества верхней мантии.

Поскольку этот процесс продолжается и поныне, о чем свидетельствуют современные извержения вулканов, выделение ювенильных вод и т. д., следует, очевидно, считать, что количество воды в океане медленно, но неуклонно возрастает. Предполагается, что в среднем за большие промежутки времени прибыль воды в океане повышает его уровень примерно на 1 мм за 1000 лет. Учитывая другие факторы повышения и понижения уровня океана, можно подсчитать, что в мезозое, т. е. более 65 млн. лет назад, уровень океана был выше современного почти на 1 км.

Анализ строения коралловых атоллов в океане показал, что за кайнозойское время дно океана прогнулось примерно на 1300 м. Это, естественно, должно было вызвать соответствующее понижение уровня океана, но одновременно действовали и факторы, обусловливающие поднятия уровня. В частности, продолжалось поступление воды в гидросферу Земли. Средняя глубина океана за это время возросла почти на 1 км. Поскольку средняя глубина современного океана около 4 км, значит, средняя глубина мезозойского океана была около 3 км, т. е. и в мезозое океан был достаточно глубоким. Результаты глубоководного бурения в океане показывают, что действительно мезозойские осадки — абиссальные, в общем аналогичные современным осадкам океанского ложа.

Появление жизни в океане существенно преобразовало солевой состав воды, как и состав атмосферы. Академик Л. А. Зенкевич считал, что уже к началу палеозоя практически сложились все типы и большинство классов животных и растений и что к этому времени сформировались атмосфера и гидросфера, по своему качественному составу аналогичные современным. Имея в виду теснейшую взаимосвязь развития литосферы, биосферы, гидросферы и атмосферы, можно полагать, что и геологическая струк-

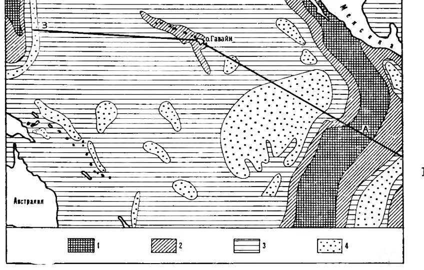


Рис. 35. Пространственное распределение теплового потока в средней части Тихого океана: 1 — тепловой поток свыше 2 единиц; 2 — от 1,5 до 2 единиц; 3 — от 1 до 1,5 единицы; 4 — менее 1. Изменение значений теплового потока по линии АВ говорит о его неоднократном убывании и возрастании, тогда как, согласно гипотезе, значения теплового потока должны постепенно понижаться от А к В

тура дна океана в начале палеозоя была во многом уже подобна современной.

В вопросе о происхождении и истории развития океана как геолого-геоморфологической категории есть несколько

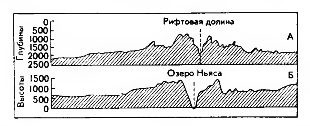


Рис. 36. Профили через срединно-океанический хребет Индийского океана (А) и через рифт озера Ньяса в Восточной Африке (Б) (Оба профиля в одинаковом масштабе). Очевидно большое сходство рельефа обеих структур

взаимоисключающих точек зрения. Одни исследователи рассматривают океанический тип земной коры как исходный. Согласно этим взглядам, благодаря преобразованию и трансформации океанической коры в переходных зонах формируются новые «полосы» материковой коры, которые наращивают по периферии ранее сформировавшиеся материковые платформы.

Другие ученые считают, что материковая земная кора некогда покрывала всю Землю. Образование океанов они связывают с обрушением, провалами обширных глыб материковой коры. Геосинклинальные зоны (переходные), по мнению сторонников этой точки зрения, также закладываются на материковой коре.

Третья группа исследователей связывает образование океанов с горизонтальными перемещениями плит литосферы. Прообразом этой гипотезы была широко известная в свое время гипотеза дрейфа материков. Современная модификация гипотезы дрейфа плит старается воедино увязать геосинклинальную гипотезу и взгляды на про-

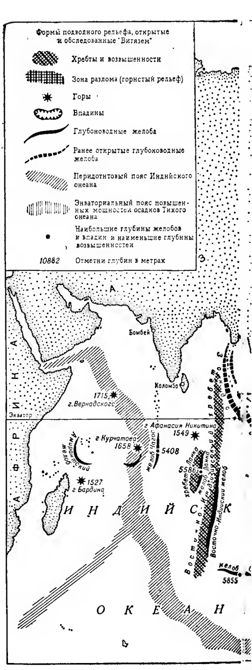
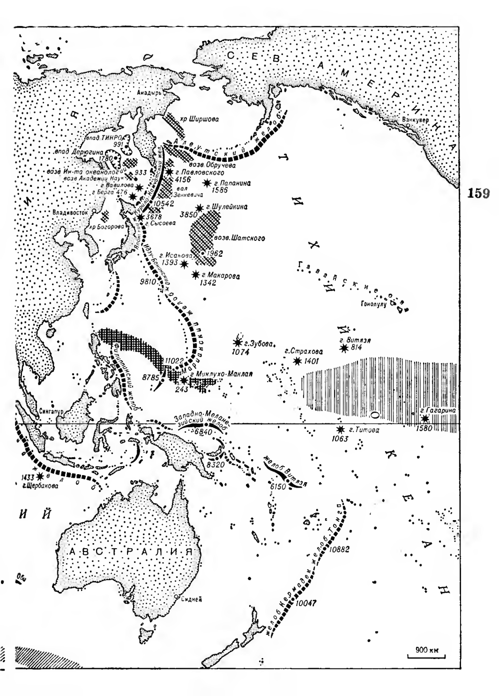


Рис. 37. Важнейшие географические открытия советских ученых в Тихом и Индийском океанах


С Е В . А М Е Р И К А
Анадырь
хр Ширшова
Ванкувер
впад ТИНРО
991
впад Дерюгина
1780
возв Ин-та океанологии
933
возв Академии Наук
г Вавилова
г Берга 476
г Павловского
4156
Алеутский желоб
возв Обручева
г Папанина
1586
вал Зенкевича
Курило-Камчатский жел.
10542
Владивосток
3678
г Сысоева
хр Богорова
г Шулейкина
3850
возв. Шатского
1962
г Исакова
1393
г Макарова
1342
9810
Изу-Бонинский желоб
Японский ж.
Гавайские о-ва
Гонолулу
Т И Х И Й
О К Е А Н
г.Зубова
1074
г.Страхова
1401
г Витязя
814
11022
Марианский желоб
8785
г Миклухо-Маклая
243
Филиппинский желоб
Сингапур
Западно-Меланезийский желоб
6840
г Гагарина
1580
г.Титова
1063
8320
желоб Витязя
6150
1433
г.Щербакова
ж е л о б
И Й
А В С Т Р А Л И Я
10882
желоб Кермадек
желоб Тонга
10047
Сидней
900 км

исхождение срединно-океанических хребтов. Попытку рассмотреть развитие геосинклиналей и срединно-океанических хребтов как две стороны единого тектонического процесса, несомненно, можно считать наиболее заманчивой и прогрессивной стороной этой гипотезы.

Согласно теории «новой глобальной тектоники», происходит движение своеобразного конвейера с восходящей ветвью в районе рифтовых зон срединных хребтов и нисходящей — в зоне глубоководных желобов. Материки, по образному выражению Р. Дитца — одного из авторов этой гипотезы, представляют собой как бы «пену» на поверхности подвижной плиты и перемещаются вместе

с ней.

Какой механизм поддерживает это движение? Мобилисты называют тепловую конвекцию. Имеется в виду, что в относительно разуплотненном слое земных недр — астеносфере, подстилающей литосферу, образуются мощные конвективные ячейки, вовлекающие в это движение и плиты литосферы.

По представлениям сторонников гипотезы новой глобальной тектоники, рассмотренный механизм постоянного обновления морского дна приводит к тому, что по мере удаления от рифтовых зон срединно-океанических хребтов дно океана «стареет». Глубоководным бурением с американского судна «Гломар Челленджер» действительно наиболее древние породы, слагающие океанское дно (юрские), были встречены на периферии океанов, на максимальном удалении от срединных хребтов. Однако у нас нет полной уверенности, что и на других участках дна вскрытые более молодые отложения являются самыми древними для этих участков: скважины «Гломар Челленджер» заканчивались бурением обычно в базальтах, нередко в таких, которые представляют собой результат подводных вулканических извержений и, возможно, перекрывают более древние отложения.

Весьма сомнительно также образование столь крупных конвекционных ячеек в литосфере и астеносфере, отличающихся, как показывают геофизические данные, очень большой неоднородностью и в вертикальном и в горизонтальном направлении. Некоторые сторонники гипотезы разрастания океанского дна склонны заменить термическую конвекцию гравитационной, но тогда непонятно, почему кверху движется тяжелый материал — ультраосновные породы. Кроме того, с точки зрения признания гравитационной конвекции трудно объяснить образование конвекционных ячеек столь большой протяженности—

от рифтовых зон до глубоководных желобов. Анализ географического распределения теплового потока эндогенного происхождения (поступающего из недр Земли к ее поверхности) показывает, что зоны высоких значений потока непосредственно граничат с зонами низких значений. А это означает, что движение глубинного вещества происходит преимущественно по вертикали, а не по конвекционным ячейкам.

Автору представляется (хотя следует оговориться, это далеко не общепринятая точка зрения), что наиболее удовлетворяет имеющимся данным гипотеза о первичности океанского дна. История формирования вместилищ океана — это, по нашему мнению, прежде всего история сокращения его площади в результате отчленения крупных периферийных участков ложа и последующей их переработки под действием геосинклинального процесса в материковые структуры. Вместе с тем очевидно, что по крайней мере с начала кайнозоя, а может быть еще и в мезозое, стал с нарастающей интенсивностью проявляться и противоположный процесс — разрушение материков под воздействием рифтогенеза, т. е. образование и развитие срединно-океанических хребтов. Вполне возможно, что эти два планетарных геологических процесса, о причинах действия которых мы пока почти ничего не знаем, и представляют собой основную сущность истории формирования дна океана.

Первая подводная геолого-геоморфологическая экспедиция на Черном море

 Летом 1959 г. лагерь экспедиции Института океанологии Академии наук СССР располагался на берегу Черного моря у подножия Карадагского вулканического массива. Каждое утро с тяжелыми аквалангами за спиной мы шли к лодочному причалу Карадагской биологической станции, сталкивали в воду свою металлическую шлюпку, грузили на нее снаряжение и отплывали к месту работ на мыс Меганом, или в бухту Львиную, или к скале Иван Разбойник. Весь день один из нас изнывал от жары на берегу, другие мерзли под водой. Иногда оба эти ощущения доставались на долю одного и того же участника экспедиции, вынужденного то часами стоять под палящим солнцем у теодолита, то надолго погружаться в море.

Перед нашей экспедицией стояло две задачи. Во-первых, мы должны были продолжить начатые много лет назад наблюдения за размывом морских берегов, сложенных разнообразными горными породами. Во-вторых, экспедиции предстояло широко использовать при проведении подводных исследований акваланги и с этой целью разработать методику подводных геологических и геоморфологических работ.

Изучение процесса разрушения суши морскими волнами требует длительных, многолетних наблюдений, и в 1951 г. на берега Карадага приехали геоморфологи. Экспедицию на этот раз возглавлял В. П. Зенкович, работавший здесь в 1937 г. под руководством Б. Ф. Добрынина. Сопоставление относящихся к 1937 и 1951 гг. фотографий и планов одних и тех же участков береговой линии позволило выявить изменения, происшедшие в надводном рельефе за период между двумя экспедициями.

Процесс разрушения суши волнами начинается не на берегу, а в море. Уже на глубинах около 100 м в океане и 30—40 м в Черном море на дне в сильные штормы ощущается воздействие волн, которые взмучивают частицы

ила. На меньших глубинах волны уже переносят песок, передвигают гальку и валуны, шлифуя и разрушая морское дно. В свою очередь рельеф дна, его неровности оказывают влияние на волны, уменьшая или увеличивая их высоту и скорость движения. От строения дна во многом зависит величина энергии, которую волны доносят до берега. Вот почему процесс размыва берегов нужно изучать прежде всего под водой, на дне, и поэтому в экспедиции Института океанологии, которая в 1959 г. должна была продолжить наблюдения 1937 и 1951 гг., большое

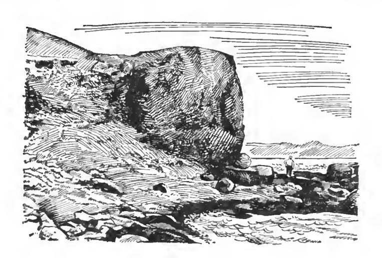


Рис. 38. Участок берега в 1937 г.

место заняли подводные исследования. Пионером в деле освоения подводной аппаратуры для геоморфологических исследований стал профессор В. П. Зенкович. Летом 1939 г. он спускался на дно с кислородным аппаратом в одном из заливов Каспийского моря, производил обследование подводных форм рельефа, собирал и описывал образцы донного грунта. Уже тогда стали ясны огромные преимущества водолазных геоморфологических работ перед обычными исследованиями, проводящимися с судна.

В послевоенное время сотрудники Института океанологии под руководством В. П. Зенковича проводили подводные геоморфологические исследования в кислородных

легководолазных аппаратах ИСАМ-48 на дне Черного, Азовского, Японского, Берингова и Каспийского морей. Эти работы дали много ценного материала для познания рельефа дна, непосредственно примыкающего к суше.

Но использование кислородной водолазной аппаратуры ограничивало возможности подводных исследований, так как аппараты типа ИСАМ-48 и ИПСА не позволяют погружаться на глубины более 20 м, довольно сложны в употреблении и стесняют свободное плавание над дном.

Широкие перспективы для подводных исследований открывает использование воздушных легководолазных аппаратов типа отечественных аквалангов АВМ-1 («Подводник-1»). Они исключительно просты в обращении, позволяют спускаться на глубины до 60 м, т. е. охватывать исследованиями практически всю зону дна, где могут быть заметны следы волнового воздействия. Кроме того, маска для ныряния обеспечивает большой обзор, а ласты — быстрое перемещение. Подводный компас и глубиномер позволяют широко ориентироваться под водой.

Благодаря этой аппаратуре подводные геоморфологические исследования по возможностям сбора материала в настоящее время почти не уступают наземным. Подводный исследователь даже имеет некоторое преимущество перед исследователем рельефа суши, так как, свободно передвигаясь в водной толще вверх и вниз, может без всяких затруднений провести обследование вертикальных отвесных обрывов и труднодоступных в условиях суши обнажений.

Применять акваланги в Институте океанологии начали с 1957 г. на Балтийском море. Эти работы, продолженные в следующем году, дали интересный материал по строению дна в прибрежной зоне. А в 1959 г. институтом была организована первая подводная геоморфологическая экспедиция на Черном море.

Одновременно с работами на берегу велись и подводные исследования. Для того чтобы на дне, так же как и на берегу, можно было бы в течение нескольких лет наблюдать за процессом размыва, мы решили провести съемку рельефа и под водой. Медленно передвигаясь по дну от репера к реперу, аквалангист через каждые 2—3 метра устанавливал неподвижно рейку, по которой с берега брались отсчеты. Эти измерения давали нам подробный и точный профиль дна. Если на дне произойдут изменения, новая нивелировка через три-четыре года покажет характер этих изменений.

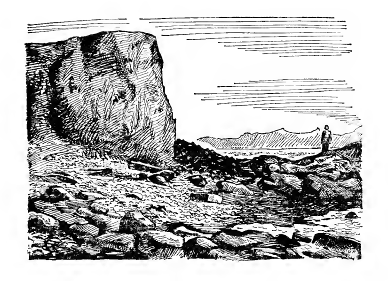


Рис. 39. Участок того же берега в 1951 г.

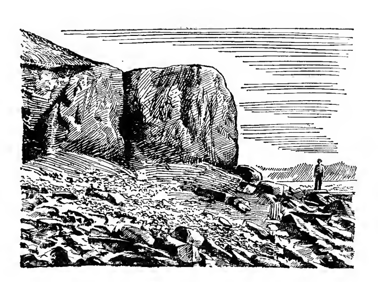


Рис. 40. Участок того же берега в 1959 г.

Однако для получения полной картины того, что происходит на дне, одной нивелировки недостаточно. Геодезические измерения дополнялись фотографированием морского дна. Для подводного фотографирования мы использовали фотоаппарат «Зоркий-4с», заключенный в водонепроницаемый бокс из плексигласа с выведенными рычагами управления заводом и перемоткой пленки, наводки на резкость, установки скорости и спуска.

Как известно, снимок, сделанный в научных целях, отличается от обыкновенной любительской фотографии прежде всего тем, что он должен быть строго привязан к месту, т. е. объекты на этом снимке должны иметь точное местоположение, и, кроме того, снимок должен давать возможность точно определять размеры всех снятых предметов. Поэтому мы фотографировали дно, строго придерживаясь линии реперов.

Обычно делались снимки с тем расчетом, чтобы соседние фотографии перекрывали друг друга. Таким образом, получалась серия снимков, покрывающая непрерывно целую полосу дна и позволяющая получить представление о строении дна, начиная от берега и до глубин 7—10 м. Для определения размеров предметов на дно в поле зрения каждого снимка клалась небольшая планка, разлинованная на дециметровые деления. Эта планка позволяла при печати «вгонять» все снимки в один масштаб, так как фотографировать, строго придерживаясь одной высоты над дном, не представлялось возможным.

Интересно было каждый раз наблюдать, как проходила подобная съемка дна. Над дном «парят» два аквалангиста: один с фотоаппаратом, другой с мерной планкой. Вот один из них плавно спускается ко дну и осторожно, чтобы не замутить воду, строго в створе кладет мерную планку и, не останавливаясь, отплывает в сторону. Плывущий вслед за ним фотограф, следя за глубиномером, делает снимок над планкой и тоже отходит в сторону.

Тем временем первый, сделав круг над дном, возвращается к мерной планке и переносит ее на несколько метров дальше, и вновь плывущий за ним фотограф делает снимок. Так кругами аквалангисты глубже и глубже спускаются по дну. Картина чем-то напоминает кружащиеся самолеты. Конечно, это сравнение отдаленное, но оно имеет некоторый смысл, так как полученные подводные снимки весьма похожи на фотографии, снимаемые с самолетов для составления топографических карт. Как известно, аэрофотоснимки, снимающиеся с перекрытием, уже давно стали основой для производства карт суши.

Большое место в наших работах занимали обследования дна и сбор образцов грунта и выходящих на дне скальных пород. Например, очень важно было проследить изменения в характере грунта от берега в море. Эти изменения показывают, в какой степени с глубиной ослабляется воздействие волн на дно.

У самого берега волны передвигают по дну большие камни, отсортировывают более мелкий материал и уносят его в море, уже глубже им по силам волочить только гальку, а крупные глыбы остаются здесь неподвижными, о чем можно судить по их заросшей водорослями и моллюсками поверхности. На глубинах больше 10—15 м во власти волн обычно оказывается песок, под слоем которого погребаются другие отложения. И наконец, там, где царит вечный покой, дно выстилается илом.

Естественно, что это лишь общая закономерность. В зависимости от местных условий распределение грунта может быть иным, и тогда по особенностям строения дна можно определить условия отложения грунта в каждом конкретном районе. Особенно важно установить зону дна, куда воздействие волн с поверхности не доходит.

Практически обследование дна для изучения смены грунтов мы осуществляли следующим образом: взяв по подводному компасу курс в море по линии, перпендикулярной к берегу, аквалангист погружался в воду и следовал над дном все дальше в море. Постепенно, по мере удаления от берега глубина нарастает, изменяется и характер грунта. Каждое изменение в строении дна записывается, берутся пробы грунта, по глубиномеру определяются глубины, на которых распространены те или иные отложения. Наконец аквалангист дошел до глубин, где по всем признакам даже в сильные штормы наносы остаются неподвижными,— тщательно фиксируется глубина, описывается дно. Разрез закончен, можно выходить на поверхность. На какой же глубине это может произойти? Все зависит от условий, силы волнения, района работ. На Черном море следы воздействия волн лишь очень редко можно отыскать на глубинах более 25—30 м.

В ходе подводных исследований нам удалось впервые с достаточной подробностью обследовать подводный рельеф до глубин 30—40 м. Во время исследований фотографировались разнообразные формы рельефа, производились необходимые измерения их размеров, по глубиномеру фиксировалась глубина их нахождения, определялись подводным компасом элементы геологического залегания пород, слагающих подводный береговой склон.

Подводные абразионные формы рельефа фотографировались нами с разных позиций. В этом отношении подводная съемка дает некоторые преимущества по сравнению с наземной, ибо, плавая в водной толще, можно фотографировать в самых невероятных для съемки на суше положениях и выбрать без затруднения самую выгодную точку съемки. Под водой можно также делать зарисовки наиболее интересных форм рельефа, а также записывать свои наблюдения простым карандашом на пластмассовых пластинках или обыкновенных фанерных дощечках.

Подводные исследования подтвердили вывод, сделанный нами на основании сравнения планов, снятых за промежуток времени более чем 20 лет. Правда, пока что это предварительное заключение, так как только повторные замеры высоты поставленных нами реперов над дном и повторные нивелировки дадут возможность точно судить о величине срезания дна волнами.

Во всяком случае уже сейчас можно сказать, что на многих участках, где под воду уходят обрывы, сложенные скальными породами, размыва в настоящее время не происходит. Таких участков на побережье Крыма довольно много. И надо сказать, что это наиболее красивые участки берега Южного Крыма, где отвесно в море уходят склоны мыса Айя, скалы Дива в Симеизе, головокружительно обрываются стены Ласточкина Гнезда и камней Одалары возле Гурзуфа, плавно спускается к воде гора Аюдаг, более круто — склоны горных массивов юго-восточного Крыма — Карадага и Меганома.

Во время недолгой поездки из района основных работ на берег Южного Крыма мы сумели обследовать почти все эти участки. Они имеют различное геологическое строение: скалы Одалары и берега Артека сложены плотными известняками, Аюдаг — изверженными породами, мыс Меганом — песчаниками, а на Карадаге, как мы уже говорили, к морю в обрывах выходят вулканические породы. И несмотря на это, ниже уровня моря все участки имеют одинаковый рельеф, почти не имеющий следов разрушительного действия морских волн.

Береговые обрывы здесь очень круто уходят на глубину до 20 м. Их поверхность сплошь заросла водорослями, имеющими иногда красноватый оттенок. Среди водорослей шныряют стайки рыб. Некоторые из них прячутся в расщелины между скалами. Очень редко в пределах этих подводных обрывов можно отыскать небольшие гроты и террасовидные ступени и выступы. Расщелины, гроты и выступы, по-видимому, не являются современ-

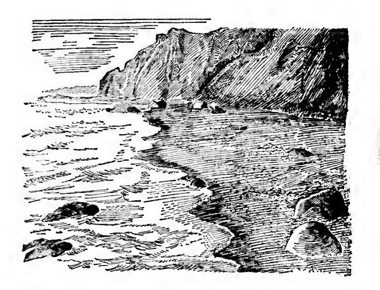


Рис. 41. Пляж в 1951 г.

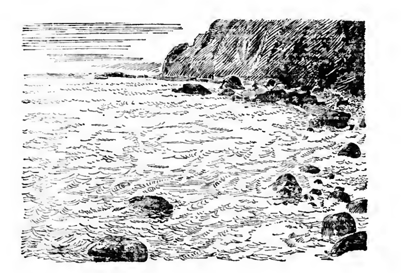


Рис. 42. Тот же пляж в 1959 г.

ными образованиями. Они возникли при более низком уровне моря несколько тысячелетий назад в результате ударов прибойной волны в береговые склоны, рассеченные тектоническими трещинами. В ослабленных трещинами местах образовались расщелины и гроты; монолитные участки породы, напротив, остались выдвинутыми в виде ступеней.

На глубине 19—20 м к подножиям отвесных скалистых обрывов примыкают почти плоские участки морского дна, сложенные илистым песком с примесью щебенки и гальки. Изредка среди поля песка и ила можно встретить огромные глыбы, свалившиеся в воду со склонов горных массивов.

После 20 м глубины дно Черного моря имеет повсюду одинаковый вид унылой песчано-илистой равнины с отдельными чахлыми кустиками невзрачных водорослей. До этой глубины дно довольно разнообразно по формам рельефа.

В бухтах Карадагского вулканического массива подводные береговые склоны спускаются на глубину довольно полого. Здесь по дну разбросаны огромные глыбы и поднимаются подводные скалы, делящие акваторию бухт на ряд подводных полузамкнутых бассейнов. Хаотические навалы глыб нередко создают подводные лабиринты, в которых нетрудно заблудиться.

Дно таких внутренних бассейнов почти повсюду выстилается галькой, которая во время штормов с шумом разносится по ходам подводных лабиринтов. Волны, ожесточенно подхватывая гальку, со страшной силой бросают ее к подножию подводных скал и камней. Происходящая многие годы бомбардировка подножий подводных скал галькой постепенно приводит к тому, что у их основания вырабатываются ниши. Эти ниши кольцом окружают подводные камни, придавая им интересную форму камней-грибов. В тех случаях, когда скалы смыкаются своими вершинами, ниши, соединяясь между собой, образуют тоннели и гроты.

В районе Карадага гротов, тоннелей и лабиринтов особенно много, что делает подводные ландшафты этого уголка Черного моря особенно привлекательными для аквалангистов — туристов и охотников. Способствует этому и исключительная прозрачность воды в районе Карадага, так как здесь в море не впадают реки, а размыв, и то очень медленный, происходит лишь на некоторых участках.

Таким образом, подводные наблюдения показали нам,

что крутые подводные склоны, к подножию которых примыкает песчано-илистая подводная равнина, морем не разрушаются. Размыв береговых склонов происходит лишь там, где на дне много гальки, которую волны могут свободно перекатывать по дну. На Карадаге галька встречается в основном до глубин 4—5 м. Глубже ее мало, и она в связи с меньшей силой волн на такой глубине почти не перемещается.

В то же время разрушительное действие волн, переносящих галечный материал, почти не сказывается на нижних частях склонов, спускающихся к морю в бухтах. Здесь берег защищен от волн подводными скалами и нагромождениями камней у подножия склонов. Волны, расходуя свою энергию при прохождении над неровным дном бухт, разбиваются о подводные скалы и, «запутавшись» в подводных лабиринтах, подходят к берегу в значительной степени ослабленными. Подобное разрушение волн можно наблюдать не только на Карадаге. На Черном море есть районы, где под водой хорошо выражены ряды идущих параллельно береговой линии гряд.

Мы обследовали подводные гряды в районе мыса Алчан-Кая, что расположен неподалеку от поселка Планерское, и на кавказском побережье Черного моря, на участке к северо-западу от Геленджика. В последнем районе мы работали уже в конце лета, завершив экспедиционные исследования в Карадаге. Здесь, в районе Геленджика, располагалась научно-исследовательская экспериментальная станция Института океанологии (ныне Южное отделение этого института). Провести наблюдения в этом районе было интересно в связи с тем, что берег в районе Геленджика имеет совершенно иной облик, нежели у Карадага.

К морю на этом участке выходят невысокие горы, сложенные так называемым флишем. Флиш — это порода, состоящая из переслаивающихся пачек известняков, глинистых сланцев и песчаников. Обычно это сильно трещиноватая порода, малоустойчивая по отношению к размыву. На первый взгляд казалось, что в силу невысокой стойкости к размыву флиша береговые склоны, сложенные этой породой, быстро и активно размываются. Внешний вид береговых обрывов подтверждает это мнение. Они круто спускаются к морю, почти не засыпаны обломочным материалом, имеют свежие абразионные формы. Однако оказалось, что первое впечатление обманчиво.

Когда мы сравнили фотографии, снятые сотрудниками станции в 1950 г., с нашими снимками, то увидели, что значительных изменений на берегу не произошло. Очерта-

ния отдельных форм рельефа, трещин и выходов слоев пород остались такими же, какими они были 10 лет назад. Видимо, в настоящее время размыв берега прекратился или стал весьма незначительным. Объяснение этому можно было найти только в строении подводного берегового склона.

Мы провели основательные обследования дна, поставили несколько реперов, сделали подводную нивелировку. На дне в этом районе прослеживаются хорошо выраженные в подводном рельефе гряды. Они тянутся вдоль береговой линии множеством параллельных рядов. Между грядами располагаются узкие ложбины. По этим ложбинам, как по длинным коридорам, курсируют взад и вперед обитатели моря. Лишь редкие из них поднимаются вверх по крутой стене гряды и переваливают в новый коридор. Ширина гряд обычно не превышает двух метров, а высота нередко достигает 2,5—3 м. Правда, последняя меняется с глубиной. У самого берега гряды незаметны.

Дно здесь почти плоское, и вершины гряд поднимаются над ним на несколько сантиметров. Но чем больше глубина, тем резче обозначаются в рельефе гряды. И уже на глубине 5—10 м они создают неповторимый, сказочный подводный ландшафт.

Часто гряды поднимаются от поверхности дна наклонно, под углом 50—60°, и тогда подводный склон принимает вид гигантской чешуи или серии кулис, заходящих друг за друга. Крутые склоны гряд и их вершины поросли буйными зарослями водоросли цистозиры. Дно ложбин и нижние части гряд, напротив, лишены растительности, а у их подножия имеются выемки в виде желобов. Когда плывешь у дна такой ложбины и водоросли смыкаются над головой, возникает впечатление, что перед тобой узкий и бесконечный тоннель, и только солнечные блики, пробивающиеся сквозь водоросли, подсказывают, что этот тоннель не имеет свода.

Как возникает подобный причудливый рельеф на дне моря, нетрудно догадаться, если вспомнить, что подводный склон здесь сложен флишем, который, как мы говорили, состоит из переслаивающихся слоев пород, различных по своей устойчивости к процессам размыва. Глины, входящие в состав флиша, размываются сравнительно быстро, и там, где выходят глинистые слои, образуются ложбины. Плотные песчаники, наоборот, длительное время противостоят разрушительному действию волн и выступают над дном в виде хорошо выраженных в рельефе гряд.

У берега, в зоне прибоя, особенно сильны вызванные волнением движения масс воды, направленные перпендикулярно к линии уреза. Поэтому здесь гряды стираются курсирующей к берегу и обратно галькой. На большей глубине приобретают значение движения воды вдоль берега, вызванные также волнением, к тому же в этой зоне скорости перемещения водных масс меньше, и поэтому размыв сосредоточивается только на участках выхода непрочных пород.

Галечный материал, перемещаясь под действием вдольберегового волнового течения по едва намеченным в приурезовой полосе ложбинам, все более и более их углубляет. Вследствие постоянного движения по ложбинам гальки гряды на дне на глубинах от 2 до 10 м наиболее резко выражены. Еще глубже высота гряд становится меньшей, так как влияние волновых движений на дно ослабевает.

На глубине 20 м гряды погребаются под слоем песка и ила. Лишь изредка на глубине 25—30, иногда 40 м среди мертвой песчано-илистой равнины можно увидеть одиноко торчащую вершину гряды.

Строение дна в районе Геленджика объясняет, почему ослаблен современный размыв в надводной части берега. Ведь для того чтобы достигнуть подножия береговых обрывов, волнам необходимо преодолеть широкую зону гряд, каждая из которых стеной стоит на пути волны, стремясь ее разрушить и не дать приблизиться к суше. Только в очень сильные штормы волны прорываются к берегу, но достигают его, потеряв на пути значительную часть своей энергии.

Однако, как мы уже говорили, внешний вид береговых обрывов свидетельствует о том, что в недавнем прошлом они, по всей видимости, размывались довольно интенсивно. Можно предположить, что это происходило в начальные этапы развития берега, пока на дне не сформировалась широкая зона гряд и доступ к подножиям береговых обрывов для волн был свободен.

В настоящее время многочисленными работами советских ученых доказано, что несколько тысячелетий назад уровень Черного моря был ниже на несколько метров. Может быть, тогда море плескалось у подножия Карадагского вулканического массива, склоны которого сейчас отвесно спускаются до глубины около 20 м. После таяния ледника, мощным щитом закрывавшего значительную часть Европы и Америки, в океан стали поступать огромные массы воды.

Вследствие этого поднимался уровень Мирового океана, а вместе с ним и уровень Черного моря. Поднятие уровня повлекло за собой наступление моря на сушу и интенсивный размыв береговых склонов. Видимо, в этот период не размывались только склоны, сложенные особо прочными породами (Карадаг, Аюдаг и др.). Берега, подобные флишевым берегам Северного Кавказа, размывались, вероятно, достаточно быстро. Размыв сопровождался отступанием линии берега, и перед ней на дне постепенно вырабатывался грядовой рельеф. На других участках, где к морю выходят не флишевые породы, на дне формировалась широкая зона мелководья.

Особенно характерно возникновение зоны мелководья и грядового рельефа на дне для периода, когда скорость поднятия уровня моря резко замедлилась. Это произошло, как считают многие ученые, всего несколько столетий назад. Постепенно образовавшиеся перед берегом зоны мелководья оградили подножия береговых склонов от волн моря, и размыв берегов почти повсеместно ослаб. Кроме этого надежным защитником берегов сейчас служат пляжи, которые море намывает у подножия береговых склонов из окатанных обломков горных пород и песка, выносимых реками и образующихся при размыве берегов.

Таким образом, современный период на берегах Черного моря характеризуется для большинства районов установлением своеобразного равновесия между расходом энергии волн при подходе к берегу и сопротивляемостью горных пород к размыву. В Карадаге на мысе Меганом, у подножия горы Аюдаг волны доносят до берега почти всю энергию, но горные породы здесь настолько устойчивые, что размыва не происходит. Между Анапой и Туапсе берег сложен менее прочными породами. Однако размыв здесь незначителен, так как энергия волн расходуется при их подходе к берегу на грядовом рельефе дна или на широких пляжах, окаймляющих подножия береговых обрывов. Интенсивный размыв берегов происходит лишь на тех участках, где к морю спускаются склоны, сложенные малоустойчивыми породами, и где волны доносят до берегов значительную часть своей энергии. Но таких участков на Черном море сравнительно мало.

Чем же в таком случае объяснить огромный ущерб, который море наносит нашему народному хозяйству у берегов? Ведь каждый, кто бывал на побережье Кавказа, видел, как море, постепенно подмывая берег, подбирается к полотну железной дороги, съедает ценные участки

земли возле санаториев. Ежегодно государство тратит большие средства на укрепление берегов. Но к сожалению, бетонные стенки, защищающие берег, довольно быстро подмываются, и суша вновь оказывается во власти волн.

Очень часто причиной современного размыва берегов является нарушение естественного режима прибрежной зоны в результате производственной деятельности людей. На кавказском побережье Черного моря, например, одной из основных причин активного размыва был вывоз различными организациями для строительных нужд гальки с пляжей. Нередко размыв усиливался в связи со строительством различных портовых сооружений, которые устанавливались иногда без учета особенностей развития того или иного участка берега.

Эти факты показывают, насколько важно всестороннее и детальное изучение процессов, происходящих в береговой зоне морей. Только при полном понимании закономерностей развития берегов можно с успехом проводить строительство береговых сооружений, активно и плодотворно бороться с такими явлениями, как размыв берегов. Наука о морских берегах существует недолго, поэтому многие вопросы развития берегов остаются невыясненными, но активная работа советских ученых в этой области позволяет с уверенностью говорить, что в недалеком будущем все проблемы, связанные с освоением побережий, будут успешно разрешены.

...Наша экспедиция подходила к концу. Собран интересный и богатый материал, намечены пути дальнейшей работы. Все мы довольны итогами подводных работ. Несомненно, акваланги — прекрасное средство для изучения подводного мира. Наконец-то геологи и географы могут исследовать морское дно не с палубы корабля, отделенные от него толщей воды, а будучи непосредственно на дне. Во время экспедиционных работ мы свободно обследовали дно до глубин 40 м. Однако для ученых не менее важно проникновение еще дальше в глубины моря, таящего неиссякаемые богатства и хранящего многие тайны.

Для нас очень заманчивой была перспектива выяснения возможности работы в акваланге на больших глубинах, так как каждый метр освоенной глубины — это огромные площади наклонного дна моря. Нам было известно, что французские аквалангисты Жак-Ив Кусто и Фредерик Дюма спускались на глубину 90 м. Попытка их товарища Мориса Фарга спуститься глубже кончилась трагично:

дойдя до глубины 120 м, Фарг погиб от глубинного опьянения.

Мы внимательно читали описания глубоководных погружений в книге Кусто и Дюма «В мире безмолвия». Все французские ныряльщики после глубины 60—70 м начинали чувствовать опьянение. Кусто очень живо и интересно описал свои ощущения при своем рекордном спуске на глубину 90 м: «...в уме проносились давно забытые кошмары... Пальцы превратились в сосиски, язык — в теннисный мяч, чудовищно распухшие губы сжимали мундштук. Воздух сгустился в сироп, вода превратилась в студень. Я повис на канате в состоянии полного отупения. Рядом со мной стоял, весело улыбаясь, другой человек — мое второе я, отлично владеющее собой и снисходительно посмеивающееся над одуревшим ныряльщиком...» Глубинное опьянение, или отравление азотом, как утверждал Кусто, наступает внезапно и приводит к тому, что человек теряет над собой контроль.

Естественно, что после подобных предупреждений со стороны опытнейшего ныряльщика мы не могли не задуматься над возможностью глубоководных спусков с исследовательскими целями. Наш «подводный коллектив» долго обсуждал вопрос о целесообразности для нас глубоководных спусков. Мы провели несколько тренировочных погружений на глубину 50 м. Самочувствие у всех было отличное, и признаков глубинного опьянения мы не испытывали. Наконец, в конце августа мы решили достигнуть 60 м и, если представится возможность, спускаться до глубины 70 м.

Нами руководила не жажда установления рекордов — хотелось лишь получить полное представление о возможностях отечественных аквалангов. За время экспедиции, проводя ежедневно под водой несколько часов, мы основательно изучили эти аппараты, и у нас возникла уверенность в надежности их работы. Достаточно тренированы были и сами участники экспедиции. Все это, как нам казалось, давало право на попытку спуститься на бóльшую глубину.

После тщательного осмотра аппаратов 29 августа мы вышли в море. Далеко от берега с борта шлюпки был спущен в воду пеньковый трос с грузом. Трос был размечен до глубины 70 м, всего же его было вытравлено 120 метров. Четверо ныряльщиков готовы к погружению, в шлюпке остается один дежурный.

Благодаря хорошей тренированности быстро продуваются уши, и резкая смена давления почти не ощу-

щается. На глубине 28 м температура воды резко меняется. В слое воды, по толщине не превышающем 1 м, температура разнится на несколько градусов — буквально чувствуешь эту резкую температурную границу на своем теле. В океанологии эта граница температур известна под названием слоя температурного скачка, но кто предполагал, что этот скачок так ясно может ощутить человек, и даже не только почувствовать, но и увидеть.

Граница температур хорошо видна по скоплению мертвых медуз и иному оттенку воды. Ниже слоя температурного скачка очень холодно. От сильного переохлаждения нас предохраняют шерстяные свитеры. Они намокли, но от холода спасают. С глубиной вода становится все более и более темной.

У отметки «50 м» мы собираемся и дальше идем вместе: в случае необходимости каждый из нас окажет помощь товарищу. Даже если откажет один из аквалангов, двое, дыша по очереди через мундштук другого аппарата, без особых затруднений смогут выйти на поверхность.

Незаметно мы дошли до отметки «70 м», самочувствие у всех нормальное, признаков азотного опьянения ни у одного из нас нет. Старший по группе жестом дает команду продолжить погружение. Глубина теперь сверяется по глубиномеру, но вот и его показания дошли до предельной черты — мы на глубине 80 м. Самочувствие по-прежнему хорошее, только очень холодно и несколько затруднено дыхание.

Кругом чернильная темнота — видны лишь силуэты товарищей, плывущих на расстоянии вытянутой руки. Фотоэкспонометр «Ленинград» показывает нулевую освещенность. Спускаемся еще ниже, и наконец руководитель дает команду прекратить погружение, подниматься наверх. На большой глубине мы были несколько минут, поэтому подъем можно совершать, не соблюдая декомпрессии. Один за другим мы выходим на поверхность, залезаем в шлюпку: всем не терпится узнать, до какой глубины мы дошли.

Обрезанный трос выбрали в шлюпку, на берегу его тщательно перемерили — мы спускались до глубины 90 м. Никто из участников погружения не испытал на себе действия глубинного опьянения; ощущений, подобных описанным Кусто, у нас не было. Трудно объяснить, чем вызвана подобная устойчивость по отношению к наркотическому действию сжатого азота. Скорее всего тем, что погружение происходило очень быстро, оно заняло у нас в общей сложности 15 минут. За это время азот не

успел в достаточной дозе раствориться в крови. Кроме того, незначительному насыщению азотом способствовал редкий ритм нашего дыхания, выработанный длительной тренировкой.

Итак, наше погружение показало, что в аквалангах АВМ-1 возможно проводить подводные кратковременные исследовательские работы на глубинах до 90 м. Геологи и географы могут непосредственно осматривать дно до этих глубин. Тогда, возможно, удастся в какой-то мере решить одну из важнейших проблем морской геологии — проблему происхождения подводных долин и каньонов. Эти долины пересекают шельф и материковый склон на многих побережьях мира. На Черном море, в районе Колхиды, каньоны начинаются с глубины 20 м и уходят на 800 и более метров. Это типичные подводные ущелья с крутыми бортами. Причины их образования до сих пор неясны: в одних случаях это тектонические ущелья, или речные долины, опущенные на дно моря; в других — глубокие промоины, созданные придонными суспензионными течениями. О происхождении черноморских каньонов можно будет судить только после непосредственного обследования верхних частей каньонов, хотя бы до глубин 90 м.

Очень много и других интересных проблем морской геологии можно решить, исследуя дно с аквалангом. Мы уверены, что вслед за первой подводной геолого-геоморфологической экспедицией в море пойдут новые, еще лучше оснащенные отряды геологов и географов и настанет время, когда акваланг станет для морских геологов таким же обычным средством познания морского дна, каким сейчас служат эхолот или грунтовые трубки.

Совершенно неизвестные страны

Есть категория людей, которые с глубокой завистью листают толстые фолианты со старинными картами, изучают дневники Колумба, собирают в личную библиотеку книжки о первых научных морских экспедициях, о чудесах океана и страстно мечтают о том, чтобы хоть на немножко окунуться в дивное время, когда корабли отплывали в таинственную неизвестность, когда на чистых листах вырисовывались вновь открытые земли и им присваивались имена первооткрывателей, когда не было выше чести считаться кругосветным мореплавателем. В общем хотят эти люди подышать воздухом великих географических открытий.

...Это было мое самое большое открытие. В 1957 г. я обнаружил, что живу в самом начале новой эпохи великих географических открытий. Выяснилось, что почти вся занятая океаном земля (около трех четвертей планеты) совсем почти неизвестна! Ну, не больше, чем суша была изучена в начале XVI в. И это не преувеличение. Можно сказать, что за последние годы мы уже приблизились по объему знаний к середине XVIII в. Но открытия все еще продолжаются. И уверен, ничто не может сравниться с чувством восхищения, трепета, гордости, когда глубоко под дном судна встают из небытия новые горы, хребты, желоба. Когда заново открываются уголки твоей Земли, которую ты считал известной вдоль и поперек.

Над Марианской бездной

Всегда людей притягивает самое-самое... Самый большой кит (до 33 м длиной). Самый большой остров (Гренландия). Или Австралия? (Но ее принято считать материком). Самый высокий прилив (21 м). Восхождение на са-

мую высокую вершину —Джомолунгму (8848 м). А где самое глубокое место в океане? Этот вопрос, как ни странно, и сейчас еще беспокоит некоторых. Автору несколько стыдно признаваться, но и он относится к категории «некоторых». Хотя, казалось бы, чего волноваться? Ведь давно уже открыта Марианская впадина. А вдруг самая-самая большая глубина вовсе не там?

Древние и средневековые мыслители полагали, что измерить глубину океана невозможно и человек никогда не узнает, что там на дне, в черном водяном мраке. Морские чудовища? Боги? Вход в ад? Ученый А. Кирхер в 1665 г. писал, что измерить глубину океана так же невозможно,

как и определить высоту неба. Представляете, как это грустно? Сам не узнаешь и никто, никогда! По-моему, человек не может с таким смириться. И не смирился.

Магеллан, совершая кругосветное плавание, решил, выйдя на просторы Тихого океана, не только пересечь его, но и раскрыть часть его секретов. На флагманском судне «Тринидад» приступили к приготовлениям. Собрали все канаты, вызвали наверх команду. Люди на корабле к этому времени были уже сильно измучены долгим плаванием, тухлой водой, голодом. «Мы питались сухарями, но то уже были не сухари, а сухарная пыль, смешанная с червями, которые сожрали самые лучшие сухари». Цена за одну крысу поднялась до половины золотого дуката. Матросы проклинали мудрствующего адмирала, который заставляет выполнять совершенно, по их мнению, бессмысленную работу. В воду опускали металлический груз. Кончилась одна бухта троса, конец привязали к другой. Все канаты, какие только были на корабле, ушли в воду. Что-то около 500 м. Но дна не было. Самоуверенный покоритель земного шара решил, что обнаружил самое глубокое место океана.

По нашим расчетам, он находился в это время недалеко от острова Туамоту, где глубина не превышает 3—4 км. А если бы даже груз и коснулся дна на глубине в 500 м, Магеллан этого не смог бы обнаружить. Чтобы человек на больших глубинах заметил касание дна, нужны гораздо более чувствительные приборы, чем матросские руки. Приспособления для измерения океанских глубин, да и то уже стальным, а не пеньковым тросом, были изобретены только в середине XIX в.

С тех пор много раз казалось, что наконец-то открыто самое глубокое место. Отметка кочевала по карте. Главное соперничество развернулось между двумя точками.

Одна — восточнее Филиппинских островов, другая — к югу от Марианских. Обе в Тихом океане.

В 1927 г. измерением глубин в Индийском и Тихом океанах занимались немецкие крейсеры «Берлин», «Карлсруэ», «Эмден». Корабли военные, и, видимо, поэтому подробностей об их работе известно очень мало. Только специальный журнал немецкой гидрографической службы время от времени помещал на своих страницах таблицы новых глубин. На кораблях были установлены новые тогда приборы — эхолоты. Отпала надобность останавливаться в море и опускать трос с грузом для получения одной-единственной цифры. Судно идет по курсу, а вниз через толщу вод бежит со скоростью около 1500 м/сек импульс звуковых или ультразвуковых волн. Встретив на пути препятствие — дно океана, он отражается от него. Часть отраженного сигнала возвращается к адресату. Зная скорость бега звуковой волны, время посылки и приема сигнала (это тоже задача прибора), нетрудно вычислить глубину. Формула проста: $Г = \frac{t_2 - t_1}{2} V_{зв}$,

где Г — глубина; t_2 — время приема отраженного сигнала; t_1 — время посылки сигнала; $V_{зв}$ — скорость звука в морской воде. Но даже и вычисления делать не приходится, их выполняет сам прибор. Перед глазами наблюдателя вспыхивает световая засечка против определенной глубины. А в наше время перо самописца вырисовывает на движущейся ленте контуры твердой земли, покрытой толстой водяной шубой океана.

Мы не знаем, кто был на командном мостике «Эмдена», кто руководил измерениями, чей возглас возвестил о новом открытии. Зафиксирован факт: к востоку от Филиппинских островов «Эмден» открыта самая-самая глубина — 10 789 м. Она продержалась в рекордсменах долго. Больше 20 лет. Значилась даже в школьных учебниках.

В начале 50-х годов с легкой руки шведского исследовательского судна «Альбатрос» в моду вошли кругосветные научные плавания. Океан велик и неизвестен. Куда ни пойдешь, добудешь что-нибудь новое. Надо постараться побывать везде, а потом сравнить, чем новости в одном месте отличаются от новостей в другом. Тогда можно говорить о законах природы, об общих чертах и различиях — словом, делать научные выводы. И вот вслед за «Альбатросом» (1948 г.) идут в кругосветное плавание датская «Галатея», английский «Челленджер».

Английским ученым посчастливилось поймать жар-птицу. К югу от Марианских островов они обнаружили

самую-самую глубину — 10 863 м. До 11 км не хватает «каких-нибудь» 137 м. Подарив миру сенсацию, «Челленджер» продолжал свой кругосветный поиск. Сколько времени продержится новая «мисс глубина»?

Наступило время Международного геофизического года. В 1957 г. по всей Земле собирались в дальние и ближние походы ученые 68 стран. В Москве, в Институте океанологии, ученые тоже сидели над картами, составляя маршрут для «Витязя». Продолжительность экспедиции — полтора года. Где плавать и что изучать в первую очередь? Наверное, сходные страдания были и в Ла-Холье и Гамбурге, в Вудс-Холе и Токио. Бури идей, мнений, самых логичных доказательств. Несмотря на жестокий цейтнот, ни у кого не поднялась рука снять линию маршрута «Витязя» с Марианской глубины. Ох и притягивает самое-самое...

Наконец, подходим. В кают-компании, на палубе — везде в центре внимания начальник геологического отряда Глеб Удинцев. Беседа каждый раз касается сакраментального вопроса: «Может, найдем поглубже?» — «Ну какая разница, на 100 метров больше, на 100 меньше?»— «Да, конечно, но все равно, хорошо бы».— «А может, и есть поглубже, да не здесь?» Вахтенные у эхолота смотрели друг на друга ревнивыми глазами. Кому посчастливится?

Эхолот показывает, что «Витязь» приближается к крутому склону. Возможности приборов на пределе. Иногда магическая линия глубины исчезает. Удинцев не покидает лаборатории. Здесь же толпятся многие другие участники экспедиции. Шумно и тесно. Бесстрастный эхолот рисует штришки. Они медленно ползут вниз: 10 тыс., 10 200 м. Наконец, площадка ровного дна, эхолот показывает 10 600 м. Какая здесь глубина на самом деле — больше или меньше? Загвоздка в том, что прибор — мы уже говорили об этом — решает непрерывную формулу, в которую входит постоянная величина — скорость звука 1500 м/сек. На самом деле она меняется с глубиной, она разная в каждом слое, она зависит от температуры, солености, т. е. плотности воды. Прибор всего этого не учитывает. Поэтому без поправки на скорость звука, вернее, на ее отклонение от расчетной величины на больших глубинах точные данные не получишь.

Запись сделана, «Витязь» остановился. Спускаем за борт батометры и термометры. Эта операция займет

около 8 часов. А потом надо отобрать из батометров пробы воды, определить в каждой соленость, ввести всевозможные поправки в температуру. Проходят сутки. Тем временем готовится другая важнейшая операция — фотографирование дна на глубине 10 600 м плюс... еще неизвестно сколько. Прибор с двумя стеклянными глазами — для фотокамеры и лампы-вспышки — скрывается в глубине. В экспедиции между тем появились недовольные.

До завершения рейса осталось очень мало времени, а начальник торопит. Другим тоже хочется поработать на своем самом-самом. Каждый спуск прибора занимает от 8 до 20 часов. Нет времени. И все поневоле начинают торопиться, нервничать.

Динамометры показывают касание дна. Фотоустановка дошла до твердой земли. Троса вытравили около 12 км. Как он там изгибается и извивается под действием течений и дрейфа судна — неизвестно. Но прибор на месте, на дне глубочайшей впадины мира. Как только камера коснулась грунта, замкнулся контакт, вспыхнула лампа, высветив кусочек вечного мрака, открылся и мигнул глаз фотоаппарата — один есть! Подняли на несколько метров над дном камеру. За это время автомат перематывает пленку, готовит место следующему кадру. Снова опустили — есть второй! Еще, еще. На палубе каждое касание дна отсчитывается вслух. Семь снимков. Общий стон — хватит! Медленно начал наматываться трос. Наверх! Лебедка включена на самую малую скорость.

В кают-компании обедают. На лебедке — начальник отряда. Вокруг, пренебрегая телесной пищей, стоят геологи. Остальные постепенно сменяются: все-таки обед. Палит тропическое солнце. От идущего вверх троса на палубу стекают капельки воды.

Звук от наматывания троса изменился. Что-то заскрежетало, зашипело. Трах! Размолоченный, оборванный конец троса выскакивает из воды... Растерянный и еще не осознавший всю только что происшедшую трагедию, Никита Зенкевич — изобретатель, конструктор и главный энтузиаст подводного фотографирования — инстинктивно старается удержать, сохранить приятные, спокойные мгновения до...

Прошло полминуты. Удинцев и Зенкевич молча идут в свою каюту... Мы не видели их двое суток. Туда им отнесли гидрологические данные. Там рассчитывались и пересчитывались поправки. Потом Удинцев вышел и показал лист бумаги. На нем крупными цифрами написана

измеренная глубина. Новая максимальная глубина Мирового океана — 11 034 м.*

Сколько акробатов нужно поставить друг другу на голову, чтобы первый стоял на дне, а самый верхний сумел подышать морским воздухом? 6299 человек. И даже если измерение глубины вести одним из семи чудес света — пирамидой Хеопса, то потребуется 76 ее близнецов, стоящих один на другом, чтобы вершина последней скалой возвышалась над морем. Там, внизу, другой мир. Туда с тревогой опускаем мы приборы и не знаем, увидим ли их снова.

И ту фотоустановку, что до сих пор лежит с семью отснятыми кадрами (даже восемью, восьмой был снят в тот момент, когда камера в последний раз упала на дно) в самом глубоком месте Земли. Все, кто плавал тогда на «Витязе», до сих пор не могут забыть этот случай. Может быть, и на малой скорости трос тоже оборвался бы! Будем рассчитывать на потомков. Достанут когда-нибудь нашу камеру, и займет она место в самом лучшем музее человечества. Там, где люди будут восхищаться дерзаниями самых первых.

Новой глубине не давали спокойно почивать на лаврах. Все новые и новые атаки предпринимались на нее...

К Марианской рекордсменке двинулся батискаф «Триест». Показать, что нет ничего не доступного человеку. 23 января 1960 г. человек опустился на самое глубокое в мире дно. И заодно новость: глубина — 11 520 м. Буквально через несколько дней новая информация: ошибка! Глубину не считать. Она «всего-навсего» 10 919 м.

Шестого ноября 1962 г. радио принесло неожиданное известие. Английское гидрографическое судно «Кук» измерило к востоку от филиппинского острова Минданао глубину 11 523,5 м. Представляете — с половиной! Было понятно, что полметра надо записать на совесть тех, кто переводил английские футы в метры. Ведь точность измерения таких глубин в лучшем случае ± 0,5 %, т. е. 60 м. Сообщение это появилось в печати. В составленную к тому времени новейшую карту глубин Тихого океана пришлось вносить новую информацию. Жаль немножко было свою глубину, но... наука, познание выигрывают от новых открытий. Через некоторое время начальник экспедиции на «Куке» опубликовал извинение. Очень печальное извинение. Не было такой глубины. А ошибки

* По уточненным данным, глубина Марианской впадины 11022 м.—*Ред.*

такие, к сожалению, возможны. Глубины большие, приборы порой далеки от совершенства.

Так до сих пор, уже 15 лет, стоит на карте: «Глубина «Витязя» — 11 034 м».

Можно ли найти еще большую глубину? Не на 100 или 200 м, а что-нибудь более существенное. Помните такое: «Когда мы достигли глубины в четырнадцать тысяч метров, то увидели в отдалении черные вершины гор, выделяющиеся в воде. Впрочем, эти вершины могли принадлежать горам такой же высоты, как Гималаи или Монблан, а может быть, даже и выше, так что по-прежнему мы не могли определить глубину этой водной пропасти... Мы находились теперь на глубине в шестнадцать тысяч метров»? Это высказывание жюльверновского героя профессора Пьера Аронакса все еще притягивает к себе, заставляет продолжать поиски. Но объективные данные современной науки уже не оставляют места для столь оптимистических взглядов.

Земля, поглощенная морем

Весенним днем 1937 г. несколько рыболовов, удивших с пирса Редондо (Калифорния), почувствовали, как грузила их удочек уходят на глубину и нужна гораздо более длинная леска, чтобы приманка достигла дна. Вскоре на поверхность воды поднялись облака взмученного ила. За несколько минут глубина дна увеличилась в том же самом месте на 10 м. Удлинив лески, рыбаки легко преодолели затруднения, вызванные внезапным изменением глубины.

Однако далеко не всегда такой нехитрый способ оказывается эффективным при решении разнообразных проблем, связанных с процессами перемещения наносов в подводных каньонах. В том же 1937 г. у южного мола Потийского порта сотрудниками Черноморпроекта были проведены промеры в вершине Потийского каньона, положившие начало первым систематическим наблюдениям в подводных каньонах. Повторные промеры выявили изменения глубин до 20 м за короткое время между съемками в 1—2 месяца.

Изыскатели, проводившие наблюдения в Потийском каньоне, были озадачены гораздо более американских любителей рыбной ловли. Необычным изменениям рельефа необходимо было дать четкую инженерную интерпретацию.

Но пожалуй, еще больше неприятностей пришлось пережить французским связистам, вынужденным за период с 1886 по 1938 г. десятки раз ремонтировать кабель Сан-Томе — Луанда, который, словно заколдованный, рвался точно на тальвеге подводного каньона Конго.

В чем же дело?

Подводные каньоны?

Все мы в сущности островитяне и живем в океане на больших островах, которые географы назвали материками. Чтобы поскорее сообщать друг другу новости, люди

соединили материки подводными телеграфными и телефонными линиями. Кабели во многих случаях пересекли тальвеги подводных каньонов. Уже в первые десятилетия службы подводных линий связи было установлено, что часто кабели рвутся на дне каньонов. Так, из повседневной практики, т. е. желания знать побыстрее и побольше о жизни соседей, возникла одна из первых проблем: какие силы приводят к авариям подводных сооружений в каньонах? А силы эти должны быть большими: даже для разрыва кабеля старой конструкции нужно приложить усилие в 8 т!

Редкая сетка промерных точек в первые годы развития океанографии создавала обманчивое впечатление о пологом океаническом дне. Когда же появились эхолоты, буквально за несколько лет в наших знаниях о рельефе дна произошла революция. Оказалось, что во всех районах Мирового океана материковый склон рассечен крутосклонными ущельями, которые во многих случаях продолжались и на шельфе. Возникли новые вопросы: почему подводные каньоны так широко распространены и каково происхождение этих загадочных форм рельефа?

Ученые разных стран до сих пор спорят о происхождении каньонов. Хотя многие гипотезы устарели и были отвергнуты новыми фактами, исчезла острота первых полемик, до сих пор нет единого взгляда по этому важному вопросу. О происхождении подводных каньонов высказано так много гипотез, что будущему исследователю придется, вероятно, больше выбирать из старых, чем создавать новые концепции.

В связи с резким увеличением в последние годы глубин лова рыбы повысилось значение подводных каньонов в промысловой (рыбной) океанографии. Знание рельефа и отложений дна при современном развитии рыболовства определяет в значительной мере и эффективность поисков и добычи рыбы, и безаварийность работы. Специалисты утверждают, что рыбы «чувствуют» рельеф морского дна и держатся поблизости от каньонов. А условия траления в подводных каньонах наиболее тяжелые: трудно поймать много рыбы на больших глубинах и при этом не порвать тралы о выступы пород на бортах каньона.

Как-то мне довелось читать лекцию о каньонах морякам в кубрике подводной лодки. Памятуя о составе аудитории, я сделал акцент на специфическое прикладное значение подводных каньонов и процессов, происходящих в них. Два часа пришлось отвечать на вопросы. И подводникам каньоны оказались не безразличны...

Интерес к подводным каньонам не случаен. Человека вообще, а исследователя-натуралиста в особенности привлекает необычность явления. Когда Ф. Шепард был студентом университета, его потрясло сообщение, что дно океана — ровная, как доска, поверхность. Наверное, это удивление и привело его к исследованию самых выразительных и необычных форм рельефа морского дна — подводных каньонов.

В настоящее время невозможно решать ни одной проблемы общегеологического и планетарно-географического характера, не принимая во внимание данных о строении дна океана. А подводные каньоны представляют собой узел множества противоречий морской геоморфологии, и, право же, стоит распутать этот клубок.

Многообразные сложные технические средства применяются в наше время для изучения подводных каньонов: научно-исследовательские суда, оборудованные эхолотами и геолокаторами, глубоководные подводные фото- и кинокамеры, вибропоршневые трубки и дночерпатели для отбора грунтов, подводное телевидение, многочисленные системы вертушек для записи придонных течений. Каньоны изучают при помощи небольших подводных лодок, «ныряющего блюдца» Ж. И. Кусто, батискафа О. Пикара и, конечно же, на малых глубинах при помощи аквалангов. Обследование каньонов из автономных подводных устройств можно уподобить обследованию в густом тумане горного ущелья с самолета: видно мало, а риск велик. В узких теснинах каньона сильным течением любое подводное устройство может быть заклинено, и Ф. Шепард, например, описал, как «ныряющее блюдце» неоднократно получало вмятины от ударов о выступы бортов каньона. И все же ученые рискуют! Конечно же, не потому, что они такие отчаянные и любят острые ощущения. Просто они убеждены, что «в скором времени стремление освоить морское дно вытеснит стремление достичь Луны», и пытаются ускорить смену этих устремлений.

Первый рубеж, который предстоит преодолеть человеку в движении на глубину,— береговая зона и шельф. Освоение человеком береговой зоны началось уже несколько тысячелетий назад, но о связи процессов в береговой зоне с процессами, происходящими на больших глубинах, мы узнали совсем недавно. Надо сказать, что из широкого круга частных вопросов и множества проблем, которые окружают таинственный мир подводных каньонов, проблема их влияния на динамику береговой зоны мне представляется наиболее сложной, захватывающе интересной

и остро актуальной. Читатель не должен удивляться, что в статье, затрагивающей эту тему, вопросов и сомнений больше, чем ответов и утверждений.

Многие из каньонов своей разветвленной древовидной вершиной проникают в береговую зону. С глубиной отдельные их ветви сливаются, а на больших глубинах, обычно у материкового подножия, заканчиваются своеобразными дельтами — глубоководными конусами выноса. Эти формы рельефа грандиозны. Объем осадков, сосредоточенных в конусах выноса лишь двух калифорнийских каньонов — Дельгада и Монтерей, составляет половину объема Каспийского моря! Объемы конусов выноса в десятки и сотни раз больше объемов сопряженных с ними подводных каньонов. Таким образом, объем наносов, прошедших транзитом через каньоны, в десятки и сотни раз превышает объем наносов, который мог сформироваться при врезании самих каньонов. Следовательно, утечка наносов в каньоны является важной расходной статьей баланса береговых наносов, и попытки решения проблемы укрепления берегов должны опираться на знания процессов в подводных каньонах и их роли в балансе наносов береговой зоны.

Но может быть, конусы выноса, будучи сформированы задолго до наших дней, сейчас «законсервированы»? Нет, и в наши дни происходит их пополнение. Существует множество доказательств современного поглощения береговых наносов каньонами и их перемещения на больших глубинах. Повторные промеры в верховьях подводных каньонов указывают на частые изменения глубин. В каньонах на больших глубинах находят обильные древесные остатки, слои водорослей и морской травы. Среди отложений дна многих каньонов обнаружены створки моллюсков, обитающих в береговой зоне, а также мелководные фораминиферы. При драгировании в каньоне Вар (Средиземное море) и погружениях французских исследователей в батискафе с глубины 700 м было поднято множество крупных галек, испачканных в мазуте, а в каньоне Ла-Холья (Калифорния) на большой глубине найдены строительный мусор, ловушка для омаров и другие предметы, ранее находившиеся на мелководье.

Но как определить размер «дани», которую суша платит океану?

Баланс наносов участка береговой зоны включает приходные статьи (твердый сток рек, приход наносов из других участков при перемещении вдоль берегов волнами и течениями) и расходные статьи (потери наносов в под-



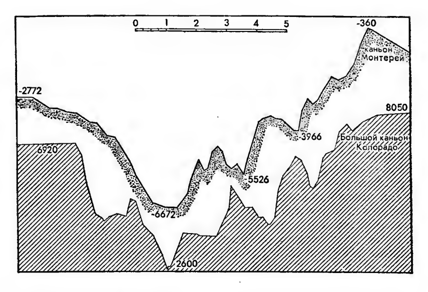


Рис. 43. Поперечные профили подводного каньона Монтерей и Большого каньона Колорадо (горизонтальная шкала в милях, высоты (глубины) в футах). Можно видеть, что подводные каньоны по величине и выразительности не уступают величайшим каньонам суши

водных каньонах, искусственные изъятия наносов, уход наносов за пределы данного участка при перемещении вдоль берегов). Итоговый баланс наносов некоторых участков береговой зоны в ряде случаев нам известен по повторным съемкам. Поэтому возможна оценка роли подводных каньонов по тем статьям баланса наносов, которые лучше изучены.

Большой практический интерес вызывает региональная характеристика роли подводных каньонов в балансе наносов береговой зоны Западного Закавказья. Вероятно, впервые подводные каньоны были открыты в Черном море в XIX в. русским моряком лейтенантом Кумани, и до наших дней накоплено много интересных фактов о связи процессов, происходящих в каньонах, с балансом наносов береговой зоны.

При анализе структуры баланса наносов береговой зоны Западного Закавказья обычно не акцентируется внимание на удивительном парадоксе: огромному объему твердого стока рек соответствует дефицит наносов на большей части побережья. Поистине, земля поглощается морем.

Парадокс баланса наносов

Пляжи черноморского побережья Грузии созданы в основном твердыми выносами 55 рек. Суммарный объем выноса наносов в Черное море составляет 13,1 млн. куб. м/год, а объем твердого стока пяти наиболее крупных рек — Бзыби, Кодори, Ингури, Риони и Чороха — составляет 93% от суммарного объема твердых выносов всех рек района. Движение наносов и их распределение вдоль берегов от этих пяти крупнейших источников в значительной мере определяют состояние пляжей в этом районе.

Перемещение наносов вдоль берегов нельзя уподобить непрерывному движению ленты конвейера. Наносы за счет твердого стока крупных рек поступают в береговую зону неравномерно: в течение весенне-летнего половодья выносится от 71 до 97% годового объема наносов. Между тем наиболее интенсивное движение наносов от источников их поступления происходит в основном в зимние месяцы — с декабря по февраль — период сильных штормов. И все же энергия штормовых волн и течений недостаточна для того, чтобы переместить все наносы, поступающие к устьям рек. Расходы потоков вдоль направления берега составляют для черноморских условий десятки тысяч или первые сотни тысяч кубических метров наносов в год. Даже для океанических побережий расходы подобных потоков обычно не превышают нескольких сотен тысяч кубометров наносов в год (лишь предел их достигает 2 млн. куб. м/год). Естественно, что при наличии огромных выносов крупнейших рек Западного Закавказья (от 600 тыс. т у Бзыби до 15,1 млн. т у Чороха) невозможно перемещение вдоль берегов всех поступивших из них наносов.

Если принять, что материал в береговой зоне сохраняется, то превышение объемов приносимого материала над объемами наносов, уходящих от источника поступления за счет вдольберегового перемещения, должно предопределить в устьях рек аккумуляцию огромного масштаба и привести к формированию мощных дельт. Между тем морфологически четко выраженные дельты против устьев даже крупнейших рек кавказского побережья отсутствуют.

Приустьевое взморье реки Бзыби отличается стабильностью баланса наносов. Периодические изменения баланса наносов имеют сезонный характер, а в целом ба-

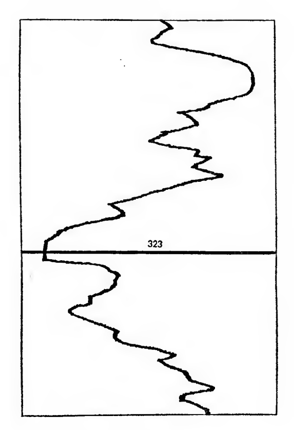


Рис. 44. Фотокопия эхограммы подводного склона, расчлененного системой подводных каньонов. Отметка № 323 проходит через широкий плоский тальвег каньона

ланс наносов близок к нейтральному. Значительные накопления в устье во время половодий компенсируются зимними штормовыми размывами. На предустьевом взморье реки Кодори ежегодно аккумулируется в среднем около 250 тыс. куб. м наносов, вдоль берегов вряд ли уходит более 200 тыс. куб. м материала, а ведь твердый сток реки превышает 1 млн. т/год.

Турецкая крепость, построенная в средние века вблизи устья Ингури, у поселка Анаклия, удалена от современ-

ного уреза моря на расстояние не более 150 м. Эти данные указывают на слабое выдвижение контура берега или его отсутствие даже при огромном твердом стоке Ингури в 2,8 млн. т. Более того, на правобережье Ингури имеются признаки дефицита наносов: несколько раз переносилась из-за размыва линия телефонной связи, проходящая вдоль берега.

Приустьевое взморье реки Риони характеризуется мощной седиментацией. По данным В. П. Зенковича, современная дельта наращивается в сторону моря на 140 м

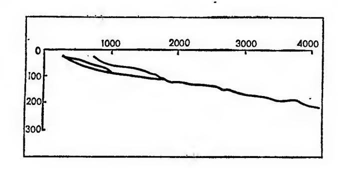


Рис. 45. Продольный профиль Ингурского подводного каньона и его притоков (по вертикали — глубины в м, по горизонтали — расстояние от устья в м)

в год. До 1939 г. река впадала вблизи верховьев большого Потийского каньона (южнее Потийского порта), и темпы аккумуляции наносов в то время были значительно более низкими, хотя твердый сток оставался неизменным (7,1 млн. т/год). На рионском участке побережья вдольбереговое перемещение крупных объемов наносов практически невозможно, поскольку волны подходят здесь к берегу почти по нормали. Аналогично положение и на ингурском участке.

Казалось бы, твердый сток Чороха, превышающий 15,1 млн. т, должен привести к огромной аккумуляции в пределах предустьевого взморья, однако в районе Батумского бульвара происходит незначительное накопление гальки, а жители пос. Адлия, расположенного рядом с устьем реки, уже обеспокоены участившимися случаями размыва их приусадебных участков.

Такое несоответствие баланса наносов количеству обломочного материала, доставляемого из рек в береговую зону, позволяет поставить вопрос, на который мы попытаемся ответить ниже.

Куда исчезают миллионы тонн наносов?

В послевоенные годы, когда в Западной Грузии развернулось интенсивное строительство, с пляжей и из русел рек строительными организациями и частными лицами были

изъяты миллионы кубометров наносов. Это значительно ухудшило естественный баланс наносов береговой зоны, и были приняты постановления о запрещении изъятия пляжеобразующих наносов. Однако добыча из карьеров инертных материалов организациями и отдельными лицами продолжается. Надо сказать, что вред, наносимый частными лицами, недооценивается, так как считается, что они много взять не могут. Но это не так: решающую роль здесь играют другие факторы — повсеместность изъятий, их постоянство и отсутствие контроля.

Видные специалисты, изучая структуру баланса наносов береговой зоны, еще совсем недавно полагали, что именно искусственные изъятия наносов с пляжей и из русел рек представляют собой основную статью расхода обломочного материала, а следовательно, и основную причину бедственного состояния берегов.

Конечно, отрицательное влияние добычи материала с пляжей и из русел рек несомненно, но бедственное состояние баланса наносов береговой зоны возникло в основном из-за исключительно неблагоприятной геоморфологической обстановки на подводном склоне. И без того напряженное состояние баланса наносов усугубилось огромными изъятиями пляжеобразующего материала.

Профессор В. П. Зенкович, основываясь на детальных исследованиях Института океанологии АН СССР и на результатах наблюдений Черноморпроекта в Потийском каньоне, в 1956 г. первым указал на важную роль подводных каньонов в ухудшении баланса наносов кавказского побережья. Однако лишь спустя полтора десятилетия удалось ориентировочно оценить размеры этого бедствия.

Прошло несколько лет упорных работ по сбору фактических материалов о балансе наносов береговой зоны, детальных промерных работ, водолазных погружений, геолого-литологических исследований, прежде чем было

установлено, что основная часть твердого стока пяти крупнейших рек Западного Закавказья безвозвратно уходит в подводные каньоны и навсегда изымается из балансовой системы береговой зоны.

Стало быть, берега «в окружении»: каньоны, врезаясь в береговую зону со стороны моря, поглощают наносы подводного склона, а человек наносит удары со стороны суши, растаскивая пляжи на строительство домов и дорог. Если вклад каньонов в «разгром берегов» можно считать примерно постоянным, то роль человека в этом деле, несмотря на известные ограничения, непрерывно растет.

Седиментация и другие процессы

Детальные промерные работы, проведенные на предустьевых взморьях рек Бзыби, Кодори, Ингури, Риони, Чороха и на смежных участках подводного склона, выявили многочисленные широко разветвленные и глубоко проникающие в береговую зону системы подводных каньонов. Верховья каньонов на малых глубинах распадаются на множество отвершков в стремлении поглотить наибольшее количество наносов, подобно тому как ветвятся вершина дерева и его корни, стремясь захватить наибольшее количество солнечного света, питательных веществ и влаги. Нередко один из отвершков каньона непосредственно внедряется в речное русло, другие же располагаются по соседству.

Подробные батиметрические съемки подводных каньонов убеждают в том, что высокие скорости накопления наносов — одно из важных условий самого существования каньонов как активно развивающейся формы рельефа.

Установлено, что больше всего отвершков (мелких ответвлений) у каньонов бывает в тех местах, куда направлен вдольбереговой поток наносов.

Интересно, что в верховьях большинства подводных каньонов, на дне и на бортах со стороны поступления в них осадков, наблюдалась необычайная рыхлость осадков: акванавту не составляло труда полностью погрузить в них руку, а металлические стержни длиной 2,5 м при незначительном усилии нацело входили в грунты на днище каньона. Формирование столь рыхлых осадков возможно лишь в условиях очень больших скоростей накопления.

Однажды, занимаясь батиметрической съемкой на предустьевом взморье реки Кодори, мы вынуждены были прервать работу из-за сильного дождя и шторма на море. Четыре дня продолжался паводок. Однако, чтобы узнать, какие изменения произошли в верховьях каньонов на взморье, мы произвели вторую эхолотную съемку. Оказалось, что за такой короткий срок в верховьях Кодорского каньона накопилось несколько сотен тысяч кубометров наносов, причем изолинии равных накоплений осадков вытягивались вдоль днища каньона. Конечно, мы зафиксировали лишь «первые шаги» накопления огромных объемов обломочного материала — в дальнейшем происходит «разгрузка».

Сравнительно недавно удалось доказать интенсивное перемещение наносов из береговой зоны в Ингурский каньон. Было выявлено, что за две недели окрашенный песок не только распространился до глубины 105 м, но и оказался местами захороненным на глубину до 1 м. Повторный отбор колонок грунта, проведенный на дне каньона через 7 месяцев, показал повсеместное отсутствие люминесцирующих песков на поверхности дна, однако много зерен индикатора было захоронено уже на глубине от 1,3 до 3,7 м. Учет толщины слоя отложившихся наносов и площадей распространения индикатора позволил впервые рассчитать, сколько наносов поглощается каньоном за известный промежуток времени. Так на удивление просто была решена одна из труднейших задач.

Кроме того, было установлено множество интересных деталей морфологии подводных каньонов. Оказалось, что небольшие V-образные отвершки, вторгающиеся в береговую зону, на больших глубинах сливаются, образуя каньоны с плоским днищем. В верхней части береговой зоны V-образный врез оконтуривается пологим понижением, имеющим форму амфитеатра. Удивительно, как такая форма поперечного профиля каньонов сохраняется на предустьевых взморьях рек даже в условиях огромных скоростей седиментации.

Продольные профили подводных каньонов (по тальвегу — линии наибольших глубин) имеют вогнутую кверху форму, обладающую наибольшими уклонами в верховьях. Крутизна продольного профиля в верховьях обычно составляет 0,2—0,3, что на несколько порядков превышает крутизну продольных профилей речных русел. Таким образом, каньоны оказываются отлично приспособленными для сброса осадков из береговой зоны вниз по подводному склону.

Большие уклоны, а также рыхлый грунт способствуют широкому развитию в верховьях каньона процессов течения, оползания и обваливания грунтов. На крутых бортах каньонов рыхлые грунты находятся в состоянии неустойчивого равновесия. Многократные попытки вырыть на таком склоне даже небольшие шурфики неизменно сопровождались быстрым заполнением их оплывающими сверху грунтами. Нетрудно догадаться, что эрозия дна каньона вызовет аналогичное поступление наносов сверху. Правда, непосредственно обвальных движений грунтов в подводных каньонах Черного моря никто не наблюдал, но есть ряд косвенных доказательств их существования.

Однажды нашим сотрудникам удалось заметить, как песок стекает по крутому борту каньона. На глубине около 15 м при умеренной зыби песок небольшими порциями поступал к крутому перегибу борта каньона и затем стекал вниз в виде волны. На короткие мгновения движение прекращалось, а затем вновь возобновлялось.

При исследовании морфологии каньонов, рассекающих подводный склон Пицунды, аквалангисты наблюдали отвесные или даже нависающие стенки подводных каньонов. В некоторых случаях удавалось увидеть и формы оползания на бортах каньонов. Крутые склоны каньонов нередко осложнены ступенями, образованными в результате оседания отдельных блоков или в ходе препарировки более плотных пластов грунта.

Потоки под водой

Нашим американским коллегам «повезло» с прозрачностью воды: в каньонах, рассекающих подводный склон Калифорнии, горизонтальная видимость достигает 20 м. Р. Диллу и К. Лимбо удалось наблюдать и даже фотографировать на дне каньона Сан-Лукас настоящие подводные песчаные реки. Таким образом, песок, который движется, обладает свойствами жидкости: когда один из водолазов погнался за рыбой, она спокойно погрузилась в песчаный грунт. На крутых участках продольного профиля каньонов образуются настоящие подводные пескопады.

Но не всегда движение песчаных грунтов так эффектно. По-видимому, чаще происходит медленное оползание чехла осадков (оно было замечено американскими исследователями по вешкам, установленным в тальвеге каньона: по мере оползания, вешки наклонялись и даже падали,

следовательно, верхняя часть осадочного чехла двигалась быстрее нижней).

В транспортировке осадков по дну каньона участвуют и придонные течения. Измерения в Ингурском каньоне и в группе каньонов Кодорского района и Пицунды указывают на существование больших скоростей течения (примерно до 40 см/сек). Придонные скорости в каньоне Монтерей на глубине 130 м колебались от 0 до 41 см/сек. При этом направление течений менялось в соответствии с приливами или сейшами: (колебаниями уровня моря после прекращения ветра): течение было направлено вверх по каньону во время отлива и вниз — во время прилива.

198 Надо сказать, что пока прямые доказательства переноса песчаных отложений мутьевыми потоками в верховьях каньонов отсутствуют. Между тем многие исследователи не исключают такой возможности. Что же касается нижних частей большинства подводных каньонов, то здесь огромная транспортирующая роль мутьевых потоков не подлежит сомнению. В этих местах формируются каналы в пределах конусов выноса и даже прирусловые валы у бровок каньона. Расчеты сотрудника Скриппсовского океанографического института Д. Пайпера показывают, что даже у хорошо изученного подводного каньона Ла-Холья, который одним из отвершков подходит к пирсу Скриппсовского океанографического института, на конусе выноса отлагается всего 20 тыс. куб. м наносов в год, тогда как из береговой зоны уходит около 200 тыс. куб. м ежегодно. Таким образом, 90% всех осадков, поглощенных каньоном из береговой зоны на протяжении голоцена (10 тыс. лет), не только проходят через каньон, но и минуют конус выноса, отлагаясь в ложбине Сан-Диего и котловине Сан-Клементе. Этот пример наглядно показывает, что не следует пренебрегать значением мутьевых потоков в транспортировке обломочного материала даже для каньонов, верховья которых «питаются» в основном песчаным материалом. Тем более значительна может быть их роль в каньонах, получающих в верховьях преимущественно мелкодисперсный обломочный материал.

Дополнительные доказательства транспортирующей работы мутьевых потоков дает изучение особенностей морфологии подводных каньонов и гранулометрического состава наносов на их дне. На днище Ингурского каньона обнаружены характернейшие формы рельефа, которые могут рассматриваться как типично флювиальные, т. е. созданные деятельностью потока. Это замкнутое понижение дна (глубиной около 5 м) на днище каньона против

впадения в него юго-восточного притока. Его протяженность — около 150 м, и оно вытянуто в основном вдоль тальвега главного каньона. По морфологии и условиям размещения такое понижение напоминает собой приустьевое углубление или углубление, формирующееся при слиянии двух притоков: «наветренный» склон этого понижения относительно пологий, «подветренный» — значительно круче. Как же протекает процесс переноса материала?

На одном из участков каньона резкое искривление его тальвега образует крутую излучину. Мутьевой поток, двигаясь по дуге, под действием встречно-бокового течения из притока отклоняется, что вызывает подмыв правого борта каньона и выработку террасы на высоте 20—30 м. В отдельные моменты при обильном поступлении наносов, прежде всего в виде взвеси, происходит переполнение каньона. Обычное «меженное» русло каньона не в состоянии вместить поток, и тогда формируется «пойменный» уровень, отражающий переполнение каньона взвесью и несоответствие емкости каньона существующим расходам мутьевого потока.

Основание банки рассекает седловина, продолжающая направление верховьев главного каньона. Для того чтобы начался сток взвешенных наносов через седловину, должен быть достигнут уровень заполнения (25—30 м над тальвегом каньона). Он совпадает с уровнем террасы, которая сформирована тем же потоком ниже по каньону. Перелив потока взвеси через седловину банки приводит к формированию подводного оврага на ее мористом склоне. Регрессивная эрозия в конце концов перепилит банку у ее основания, перехватит главное русло каньона и направит его по кратчайшему пути. В 200 м ниже впадения этой ложбины перехвата на днище главного каньона формируется линейно вытянутое на 250 м понижение глубиной 5—8 м. Его формирование связано со слиянием притока ложбины и основного потока каньона. Транспортирующая способность потока связана степенной зависимостью с его расходом. Поэтому на участках слияния возрастает энергия потока и происходит размыв дна.

Экспериментальные исследования движения песчаных наносов в потоке показали, что 90 % всех наносов перемещается на расстоянии от дна, составляющем 0,05—0,1 глубины самого потока. Так как глубина мутьевого потока в условиях Ингурского каньона равна 25—30 м, то ей должна соответствовать толщина подвижного слоя наносов от 1,25 до 3 м. Удивительно, что изучение грануло-

метрического состава грунтов позволило установить толщину слоя, в котором изменение свойств грунтов (их крупности и отсортированности) происходит так, как если бы он был отложен потоком, затухающим во времени. Толщина слоя оказалась равной примерно 1,5 м, т. е. практически совпала с толщиной подвижного слоя, определенной другим способом. Но если затухание потока находит отражение в характеристиках осадков, то до настоящего времени нет ясности в том, как «начинается» мутьевой поток. Наряду с возможностью формирования мутьевых потоков за счет речного стока и штормов, вероятно, важным механизмом возникновения мутьевых потоков

являются самопроизвольные движения грунтов (оползни, обвалы, течения грунтов). Скорее всего мутьевой поток завершает моделировку рельефа подводного каньона, осуществляя транспортировку части наносов, а также их дифференциацию. В Ингурском каньоне, например, устойчиво прослеживается дифференциация наносов по крупности вдоль его тальвега. Надо думать, существует в каньонах и дифференциация наносов по удельному весу. Нет сомнений, что исследования ближайших лет приведут к открытию промышленных залежей полезных минеральных компонентов, связанных с процессами в подводных каньонах.

Движутся ли каньоны?

Очень кратко мы попытались рассказать о процессах, которые перемещают обломочный материал в подводных каньонах. Однако движутся ли сами каньоны? Оказывается, движутся! Верховья каньонов могут наступать на берег, и в этом отношении они подобны оврагам. Но каньоны могут и заноситься осадками, как бы удаляться от берега. Особенно показательно в этом отношении развитие Потийского каньона. С 1892 до 1937 г. вершина каньона переместилась вверх, к устью Риони, более чем на 350 м. Приближение его со временем ускорилось, и особое внимание каньон привлек после 1925 г., когда стало известно, что он приближается к молу Потийского порта. В 1940 г. вершина каньона подошла вплотную к молу и возникла реальная угроза его разрушения. Уже в конце 1936 г. были предприняты срочные защитные меры — уложены фашины в вершине северного притока каньона. Но фашины исчезли в каньоне и частично были уничтожены волнением. В том же месте в 1938 г. было

уложено более 200 тяжелых фашин и деревьев с укрепленными на них трехтонными бетонными массивами. Их продолжали укладывать и в 1940 г. Кроме того, по тальвегу каньона и в его вершине были затоплены два катера длиной по 10 м и баржа длиной 35 м. Примерно с этого времени приближение вершины каньона к берегу прекратилось и началось ее заполнение наносами. С 1940 до 1960 г. вершина каньона на 300 м отодвинулась в сторону моря, а северный приток, угрожавший молу, исчез вовсе. Что повлияло на каньон: аварийные мероприятия или переброска русла Риони на несколько километров к северу от порта? Так или иначе, каньон отступил, и Потийский порт продолжает принимать суда.

Убедительные доказательства быстрого врезания каньона получены для каньона Петакалько (Мексика). За 100 лет он врезался в дельтовые отложения реки на глубину 20—30 м, и это произошло после перемещения русла реки, впадавшей ранее против каньона. Таким образом, в данном случае после изменения режима питания каньон начал перемещаться в сторону берега. В связи с этим возникает мысль: не является ли размыв целых кварталов Поти последствием не только переброски русла Риони, но и изменения режима питания наносами верховьев Потийского каньона?

Логика человеческого познания такова, что, казалось бы, самую неблагоприятную информацию (была бы она истинной!) человек стремится обратить на пользу обществу. Наносы из береговой зоны поглощаются подводными каньонами, дефицит наносов приводит к истощению пляжей. Но если наносы с подводного склона уходят в каньон, то нельзя ли добывать их как сырье для строительной индустрии? Ведь в этом случае мы просто отнимаем у каньона его добычу. Мы уже пробовали совместно с Сухумским морским портом это делать и получили обнадеживающие результаты.

Перемещение наносов в каньонах на большие глубины некоторым кажется заманчивым использовать для сброса различного рода промышленных отходов, стоков химических предприятий и бытовых вод. Однако таких «оптимистов» следует пока удержать от этого искушения. Наблюдениями установлено, что к устьевым частям некоторых подводных каньонов приурочены повышенное содержание кислорода и взвесей, пониженная соленость воды. Эти наблюдения позволяют понять, почему рыба на больших глубинах «чувствует» подводные каньоны и держится поблизости к ним.

Ранее упоминалось, что процессы, протекающие в подводных каньонах, приводят к дифференциации обломочного материала по крупности, а возможно, и по удельному весу. Следовательно, есть все основания для изучения подводных каньонов с позиций открытия новых ресурсов минерального сырья.

Из огромных объемов обломочного материала, поступающего в подводные каньоны, не менее 10 % составляет материал органического происхождения. Во многих каньонах (в том числе и в черноморских) замечены выделения газа, по составу близкого к метану. Если захоронение органического материала происходит в условиях восстановительной среды (например, ниже зоны сероводородного заражения в морях, подобных Черному морю), подводные каньоны могут стать объектом пристального изучения с точки зрения возможности формирования нефтяных и газовых месторождений.

Но можно ли бороться с поглощением наносов подводными каньонами?

Случай с Потийским каньоном еще ничего не говорит, тем более что так и осталось неясным, что же повлияло на его эволюцию: отсутствие обильного притока наносов из русла Риони или аварийные мероприятия? Ответы на эти, да и многие другие вопросы будут получены в ближайшее время лишь в том случае, если темпы научных исследований подводных каньонов резко возрастут.

„Академик Курчатов“ в Индийском океане

В апреле 1967 г. научно-исследовательское судно «Академик Курчатов» вышло из Севастополя во второй рейс. Рано утром 15 апреля у западного берега острова Сокотра в Аравийском море состоялась торжественная встреча с ветераном советского научно-исследовательского флота — прославленным «Витязем», совершавшим 41-й рейс. Отсюда оба корабля начали совместные геолого-геофизические исследования в северо-западной части Индийского океана. Геологов и геофизиков привлекала осевая, так называемая рифтовая зона Аравийско-Индийского хребта.

Через все океаны Земли простираются широкие поднятия дна — подводные хребты. Аравийско-Индийский хребет является северной ветвью большой системы Срединно-Индоокеанских хребтов. Поверхность подводных хребтов, как правило, сильно расчленена: то вдоль, то под углом к оси, то поперек хребта, чередуясь, сменяют друг друга короткие гряды и ущелья. А у самой оси хребтов обычно располагается наиболее глубокая депрессия — рифтовая долина, или ущелье, окаймленное высокими рифтовыми хребтами. Осевая зона срединно-океанических хребтов отличается не только расчлененностью рельефа. Много здесь и других геолого-геофизических особенностей. Повышенная сейсмическая активность, интенсивный поток тепла из недр Земли, выходы глубинных ультраосновных пород — вот что удалось установить в результате кропотливых и детальных исследований.

Высокую тектоническую активность осевой зоны геологи объясняют процессами в верхней мантии Земли, которые, вероятно, связаны с подъемом и внедрением глубинного вещества в земную кору. Благодаря внедрению глубинного вещества здесь образовался особый тип земной коры — «мозаика», которая сложена чередующимися блоками океанической коры и блоками глубинных пород мантии. Так как рифтовые зоны распростра-

нены по всему земному шару, Г. Б. Удинцев выделяет их в качестве одной из основных структур и называет эту структуру георифтогеналью.

Индийский океан (его северо-западная часть) радует геологов возможностью стать первооткрывателями; он таит еще никем не исследованные новые формы подводного рельефа. Особенно много «подводных» открытий было сделано в период проведения Международной индоокеанской экспедиции.

Англичане на судах «Оуэн», «Дискавери» и других восточнее острова Сокотра выявили несколько подводных гор и крупную зону разлома (разлом Оуэн). Американская экспедиция на судне «Вима» обнаружила в рифтовой зоне Аравийско-Индийского хребта, к юго-западу от архипелага Чагос, глубокое рифтовое ущелье (желоб «Вима»). Несколько новых форм подводного рельефа открыли здесь советские экспедиции на «Витязе» (желоба «Витязя», Чагос и Амирантский; гора Бардина и др.).

«Академик Курчатов» начинал свои работы в хорошо изученном районе Индийского океана, что, естественно, уменьшало вероятность новых открытий. Все же этой экспедиции удалось впервые обследовать несколько новых форм подводного рельефа и измерить новые глубины.

Первое открытие было сделано в Аравийской котловине. Оказалось, что на ее ровном дне возвышается гора — массивное поднятие дна с крутыми (до 30—40°) склонами. Вершина горы имеет слегка выпуклую, местами плоскую или волнистую поверхность размером 5×9 миль. Судя по морфологии горы (большой крутизне и прямому профилю склонов, плоской вершинной поверхности), она имеет глыбовое происхождение. Участники экспедиции предложили назвать эту гору в честь Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова горой МГУ.

На небольшом участке рифтовой зоны (в северной части Аравийско-Индийского хребта) в результате очень подробных исследований было обнаружено несколько крупных рифтовых хребтов. Вершину одного из них впервые «увидел» эхолот «Витязя» в 33-м рейсе, а экспедиция на «Академике Курчатове» выполнила ее подробное обследование. Здесь были собраны многочисленные образцы глубинных ультраосновных пород, представляющих большой научный интерес для геохимиков. Было предложено назвать вершину горой Вернадского в честь выдающегося ученого-геохимика — академика В. И. Вернадского.

В 36-м рейсе «Витязя» была выполнена очень детальная съемка подводного рельефа участка к западу от архипелага Чагос. Так на карте появился желоб «Витязя» — глубокое рифтовое ущелье, окаймленное хребтами. В совместной экспедиции двух кораблей исследования этого участка были продолжены, и изученная площадь дна значительно увеличилась (рис. 47).

В настоящее время хребет, расположенный с северо-западной стороны желоба «Витязя», представляет один из немногих подробно и всесторонне обследованных хребтов рифтовой зоны Индийского океана. Вершину этого хребта (наименьшая глубина — 1658 м) предложено назвать в честь известного ученого-физика, академика И. В. Курчатова горой Курчатова. Во время работ в желобе «Витязя» «Академик Курчатов» измерил новую максимальную глубину этого желоба — 5544 м. Как принято, глубину желоба назвали в честь измерившего ее корабля глубиной «Академика Курчатова».

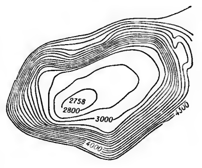


Рис. 46. Батиметрическая карта горы МГУ

Новая максимальная глубина была измерена и в желобе «Вима». Этот желоб, как и желоб «Витязя», оказался тоже глубоким рифтовым ущельем Аравийско-Индийского хребта, расположенным под углом 45° к общему простиранию. Такое необычное, кулисообразное расположение основных структурных элементов срединно-океанического хребта можно отнести к характерной особенности южного окончания Аравийско-Индийского хребта. Во время драгировок и тралений на самом дне желоба «Вима» была измерена глубина 6492 м, которая является также и наибольшей глубиной всей северо-западной части Индийского океана.

Еще одно открытие ожидало экспедицию в районе Мальдивского хребта. Это крупное поднятие дна богато подводными горами, которые увенчаны коралловыми рифами. Там, где рифы поднимаются из воды, много коралловых островов и атоллов. В 18 милях к северо-западу от атолла Диего-Гарсия была открыта еще одна гора. Основание горы диаметром около 10 миль находится на

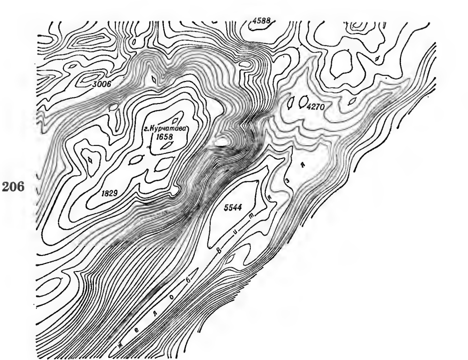


Рис. 47. Батиметрическая карта горы Курчатова и желоба «Витязя»

глубине 1000 м, а вершина — на глубине 104 м. Изолированные поднятия дна обычно называют банками. И вершину новой горы решили назвать банкой «Академика Курчатова».

Таким образом, уже первые плавания научно-исследовательского корабля Института океанологии АН СССР «Академик Курчатов» завершились несколькими географическими открытиями в Индийском океане, а на батиметрических картах появились новые русские географические названия.

В глубинах антарктических морей

5 января 1956 г. мы увидели берега шестого континента. Они открылись неожиданно. Мы долго шли через мелко битый лед, лавируя между айсбергами самых причудливых форм. Солнце только что взошло и окрасило громады льдов в ярко-красный цвет. Многие айсберги, уже давно носимые течениями и ветрами, сильно подтаяли. В глубине ледяных гротов, образовавшихся от ударов волн, стоял зеленоватый полумрак. Тонкие ледяные стены их светились чистым синим светом. Это разнообразие красок в безмолвном и холодном Южном океане создавало какую-то сказочную обстановку.

Но вот за двумя большими айсбергами открылось водное пространство, совершенно свободное ото льда. Слева от нас оно было окаймлено белой полосой края ледника Шеклтона — гигантского ледяного языка, далеко уходящего в море Дейвиса, а прямо, на юге, перед носом корабля, тянулась гряда пологих ледяных возвышенностей. Они так блестели на солнце, что без темных очков на них нельзя было смотреть. Это и был долгожданный материк Антарктида; мы подходили к нему на 38-й день плавания.

Скоро «Обь» вошла в ледяной припай и остановилась в двух милях от края континента. Мы ясно видели испещренные трещинами обрывистые ледяные уступы высотой 20—40 м, а выше их на слегка наклонной поверхности материкового льда лежали огромные валуны. Место, к которому мы подошли, было бухтой Депо. Здесь в начале нашего столетия находился склад экспедиции Дугласа Моусона.

Участники экспедиции и моряки направились к материку на лыжах. Было тепло. Местами на солнце таял верхний слой снега, и на поверхности льда образовывались маленькие лужицы. В это время в Антарктике было значительно теплее, чем, скажем, в Харькове и Свердловске.

Это и понятно, так как январь — самый знойный, если можно так выразиться, месяц в южном полушарии. Здесь был разгар лета.

Мы подробно обследовали валуны, которые состояли из гранитов, гнейсов, кристаллических сланцев и песчаников. Рядом с валунами лежали груды гальки и щебня. Все это принесли материковые льды из центральных частей континента. За мореной на ровной ледяной площадке началась подготовка аэродрома. Разведывательные полеты должны были совершаться с целью поисков наиболее удобного места для постройки научной южнополярной обсерватории. Вскоре такое место было найдено у острова
208 Хасуэлл, и «Обь», обогнув с севера шельфовый ледник Хелен, снова подошла к материку.

На этот раз мы увидели темные скалы из гранитов и гнейсов, к которым судно смогло подойти почти вплотную. Здесь решено было начать строительство первого в Антарктиде русского поселка. Научный состав и моряки морской экспедиции приняли участие в разгрузке корабля и строительстве домов. В конце февраля эти работы были в основном закончены, и южнополярная обсерватория «Мирный» начала свою работу. 28 февраля «Обь» покинула Мирный и направилась в длительное плавание в антарктических водах, в Тихом и Индийском океанах.

Морские исследования начались в море Дейвиса, непосредственно у берегов Мирного. Далее, по зигзагообразной линии, то приближаясь к материку, то отдаляясь от него, экспедиция уходила на восток, к району южного магнитного полюса, а от него — к островам Баллени. Отрезок пути от моря Дейвиса до островов Баллени явился наиболее трудным этапом наших работ. Преодолевая тяжелые льды, в условиях сильных штормов экспедиция должна была проводить комплексные океанографические исследования в районах, не положенных на карты, или в местах, где береговая черта нанесена неверно. Так, в районе Земли Сабрина наш корабль на протяжении более 100 миль прошел по местам, где на картах обозначена суша. Эхолоты корабля показывали в это время глубины более 400 м.

От островов Баллени «Обь» направилась вдоль подводного хребта Маккуори на север и 9 апреля подошла к берегам Новой Зеландии. После работ в Тасмановом море и захода в австралийский порт Аделаида мы снова направились в Антарктику, в район острова Дригальского. Далее курс «Оби» пролегал на север, и, пройдя многие моря и океаны, мы вернулись на Родину. В общей

сложности мы проделали во время первого рейса 33 тыс. миль.

В составе экспедиции были научные сотрудники различных специальностей. В многочисленных судовых лабораториях работали гидрологи, биологи, аэрометеорологи, гидрохимики, геофизики, гидрографы и морские геологи. По существу «Обь» представляла собой плавучий морской институт с широкой программой научных исследований. Регулярно на палубе сотрудники аэрометеорологического отряда вели наблюдения за температурой и влажностью воздуха и давлением. Далеко вверх уходили шары-зонды, снабженные небольшими радиопередатчиками, сообщающими характеристики метеорологических элементов в верхних слоях атмосферы. По материалам, полученным на корабле, а также по сводкам береговых и островных станций, принимаемым по радио, ежедневно составлялся прогноз погоды, необходимый для мореплавания и планирования научных работ.

Большие работы на судне выполнил гидрологический отряд. На станциях с помощью специальных сложных приборов велись исследования направления и скорости течений на разных глубинах океана, измерялась температура воды. Серии батометров приносили на борт пробы морской воды, которые затем тщательно изучались гидрохимиками. Определялись соленость вод и состав входящих в них химических элементов. Особенно интересными оказались данные о растворенных в воде газах, в частности кислорода, который в приантарктических водах, не покрытых льдами, проникает на большую глубину.

Весьма разносторонней была деятельность биологического отряда экспедиции. Помимо исследования рыб ученые изучали животный и растительный мир морского дна. С кормы судна на толстом стальном тросе спускался большой трал, который протаскивали по дну на расстояние нескольких миль. В сетке трала собирались многочисленные морские ежи, звезды, голотурии, офиуры, крабы и другие представители донного населения. С мелководий, окружающих острова, биологи поднимали разнообразные губки, кораллы и створки моллюсков. У островов Маккуори и Кергелен, на которые мы высаживались, собраны большие коллекции водорослей.

Гидрографы экспедиции были заняты прокладкой курса корабля и исправлением морских карт. Во время высадок производились определения астропунктов. Прибрежный промер глубин осуществлялся с помощью мелководного эхолота, установленного на гидрографическом катере.

Была составлена детальная новая карта района обсерватории «Мирный», на которой точно нанесен контур берега, обозначены прибрежные острова и глубины.

Наконец, значительную работу проделал морской геологический отряд, обеспечивший проведение глубоководного промера на большей части пути, пройденного судном, и беспрерывно исследовавший донные отложения. Геологическим отрядом обследованы также антарктические и субантарктические острова, посещавшиеся судном в период экспедиции 1956 г. На работах этого отряда мы остановимся подробнее.

210 Исследования морского геологического отряда велись в нескольких направлениях. Главным из них было изучение донных отложений, добываемых со дна с помощью специальных приборов — грунтовых трубок и дночерпателей. Кроме того, производился систематический анализ частиц, взвешенных в морской воде, велись сейсмоакустические работы, дающие возможность определить мощность рыхлых отложений, залегающих на морском дне.

Одним из основных разделов работ морского геологического отряда явилось изучение донного рельефа. С момента выхода из Калининграда в лаборатории судна беспрерывно работал эхолот, записывающий на движущейся ленте контуры подводных равнин, возвышенностей, долин и гор. В антарктических водах удалось выполнить промеры дна по ходу судна на протяжении более 4 тыс. миль. Половина этого участка до настоящего времени по существу являлась белым пятном, не было никаких сведений о его глубинах.

Наиболее подробно изучен рельеф в районе моря Дейвиса. Здесь от берега в сторону океана простирается материковая отмель с очень неровным рельефом. Дно представляет собой сложное чередование подводных возвышенностей и впадин, часто с очень резкими очертаниями. Вероятно, здесь активно проявляются процессы движений и раздроблений земной коры. Материковая отмель имеет общий небольшой наклон в сторону суши. Для нее характерно погружение внешнего края до глубины около 300 м, а в некоторых случаях еще глубже. По сравнению с другими континентами это большая величина, ибо средняя глубина внешнего края материковой отмели Европы, Азии, Африки, Америки и Австралии составляет 180 м.

Наряду с бугристым шельфом в море Дейвиса и далее к востоку, вплоть до островов Баллени, встречаются

участки выровненного шельфа. Подводная равнина здесь покрыта валунами, галькой и песком. Но наиболее интересным элементом рельефа явился глубокий желоб, проходящий в середине материковой отмели параллельно берегу Антарктиды на протяжении более 2 тыс. миль. Это узкое понижение с крутыми склонами, которое, возможно, окаймляет и весь материк. В масштабах океана и на фоне глубин 200—400 м желоб с глубинами 1000—1600 м выглядит подводным ущельем с неровным дном, разбитым трещинами. Ширина желоба в разных местах колеблется от 3 до 8 миль.

Двигаясь от берега в сторону океана, мы обнаружили за желобом пространство материковой отмели, на этот раз, однако, значительно более выровненное и наклоненное в сторону материка. За ним эхолот отметил резкое понижение дна — материковый склон, спускающийся к океаническому ложу. Переход от поверхности отмели к склону выражен четко в виде уступа, за которым следует увеличение глубин. Профиль склона имеет обычно вид наклонной плоскости, переходящей на больших глубинах в малозаметную вогнутость дна. В верхней части склона встречаются участки крупноглыбового строения.

Ложе океана в основании склона не представляет собой идеальной равнины. Здесь мы обнаружили поднятие и валы с очень пологими склонами, которые чередуются с плавными понижениями. Выравнивание дна обусловлено, очевидно, длительным процессом накопления рыхлых осадков, которые сгладили неровности первичного тектонического рельефа.

Обработка обширных материалов по рельефу дна позволяет составить структурно-тектонические карты широкой полосы дна морей, окружающих Антарктиду, а также уточнить положение береговой линии материка и островов. Уже составлена новая батиметрическая карта моря Дейвиса, на берегу которого расположен поселок Мирный. Готовится карта более восточных районов.

Исследование рельефа морского дна проводилось в тесной связи с изучением осадков. В антарктических водах получено более 50 дночерпательных проб грунта, а также десятки грунтовых колонок длиной до 3—5 м. Самая интересная колонка была получена поздним вечером 13 мая 1956 г., когда «Обь» остановилась среди льдов у входа в море Дейвиса. Это произошло при следующих обстоятельствах.

После длительных океанографических работ в Тасмановом море, у берегов Австралии, и в южной части Ин-

дийского океана «Обь» снова подошла к Антарктиде. До берега оставалось около 100 миль, но установившийся молодой лед сильно затруднял продвижение корабля. Чтобы преодолеть его, потребовалось бы двое-трое суток беспрерывной работы с большой затратой горючего. Вот почему было принято решение не пробиваться дальше на юг, а повернуть к северу и идти до Красного моря, предварительно приняв почту от наших товарищей из Мирного.

Пока в Мирном готовили самолет и ждали рассвета, на палубе развернулись работы у всех океанографических лебедок. Геологический отряд решил использовать ночное
 время для первого экспериментального спуска новой поршневой трубки, приносящей со дна образцы грунта. На обледенелой палубе началась сборка прибора, состоящего из трех семиметровых труб, тяжелого груза и стального наконечника с острыми краями, прорезывающего многовековые слои наносов морского дна. В трубке имеется специальный поршень. Последний в процессе заглубления приборов в грунт подтягивается кверху и тем способствует более легкому продвижению грунтовой колонки внутри трубки.

Погода не благоприятствовала нам. Ледяной ветер антарктической осени наносил на палубу снег, темные рваные тучи часто закрывали звезды, принося «заряды» ледяной крупы. Наконец трубы были свинчены, груз закреплен, и весь прибор начал опускаться в океан на глубину 3 тыс. м.

Несколько часов потребовалось на спуск и подъем трубки. Но вот счетчик лебедки уже показывает 200,100, 50 м, и из воды при свете прожекторов показываются свинцовые круги груза, а за ними и сама трубка, слегка искривленная и покрытая илом. Взяла ли трубка грунт? Какой он? Какова длина колонки? Эти вопросы возникали у каждого во время работы по отделению груза и укладке трубы на палубе.

И вот началось выталкивание колонки из трубки. В специальные лотки из нержавеющей стали под напором воды из насоса выползала грунтовая колонка. Общая длина ее составила 14,5 м.
Таких длинных колонок еще не удавалось получать со дна антарктических морей.

Почему так важно получить наиболее длинную колонку грунта? Дело в том, что океанские осадки, накапливающиеся очень медленно, со скоростью около одного сантиметра в тысячу лет, отражают изменения окружающих

условий. Чем длиннее колонка, тем дальше в глубь геологической истории нам удается проникнуть.

В нижней части колонки мы обнаружили очень плотные древние илы; выше лежало несколько прослоек песчаного материала, грубых айсберговых осадков и диатомовых илов. Смена этих отложений свидетельствует об изменчивости физико-географических условий в Антарктике в давно прошедшие века. В частности, можно восстановить климат, растительный и животный мир прошлого, абсолютный возраст и даже температуру морских вод периодов, отстоящих от нас на сотни тысяч и миллионы лет.

Что же представляют собой осадки дна приантарктических морей? Данных по этому вопросу до последнего времени было очень мало, а для обширных районов они вообще отсутствовали. Ближе всего к берегу распространены морские айсберговые осадки. Они образовались при таянии айсбергов — гигантских ледяных гор, оторвавшихся от края ледяного купола Антарктиды. Это так называемая ледниковая мука, а также более крупные частицы — песок и валуны гранитов, кристаллических сланцев, осадочных и метаморфических пород. Наряду с ледниковым материалом здесь постоянно встречаются остатки диатомовых водорослей, а также иглы стеклянных губок и раковины моллюсков. Все эти отложения, располагаясь концентрически вокруг материка, образуют зону шириной около 200—400 миль.

Далее к северу находится зона диатомовых илов. Они встречены на глубинах от 1 до 5 тыс. м. Это чаще всего кремовые, реже светло-коричневые и даже шоколадные осадки с типичной «творожистой» текстурой. При высыхании илы приобретают светлую, почти белую окраску, легко растираются между пальцами. Они очень легки: кусочек сухого диатомового ила, брошенный в стакан с водой, плавает. Свое название эти илы получили от диатомовых водорослей микроскопического размера, которые составляют 70—80 % осадка.

Севернее зоны диатомовых илов на огромных площадях океанического дна располагаются фораминиферовые осадки. Они состоят главным образом из мелких раковин корненожек (фораминифер). Чаще всего это белые, иногда светло-серые или коричневатые осадки. Под микроскопом кроме фораминифер удается обнаружить обломки других известковых организмов, например моллюсков, игл морских ежей, мшанок и губок. В фораминиферовых иглах часто встречаются марганцево-железистые стяжения. Обычно это твердые образования размером от долей миллиметра

до нескольких десятков сантиметров, а в редких случаях даже до нескольких метров.

Всего пробы донных отложений были получены со 120 океанографических станций у берегов Антарктиды и в Индийском океане. Они дали возможность подробно охарактеризовать отложения морского дна на глубинах от 30 до 5 500 м. Нередко работы производились в штормовую погоду, при сильных снегопадах и в условиях сплоченных льдов. Кроме материалов, характеризующих донные осадки и рельеф, морской геологический отряд собрал интересные данные о распределении взвешенных в воде мельчайших частиц. Пробы морской воды фильтровались через специальные мембранные ультрафильтры. Всего получено более полутора тысяч проб, свидетельствующих о различных условиях накопления осадков в Мировом океане. Эти пробы собирались не только с поверхности, но и с различных глубин до 5 тыс. м. Кроме фильтрации морской воды большие количества взвеси удалось собрать методом сепарации. Обработка этих материалов дала возможность охарактеризовать ход процесса образования осадков не только в Антарктике и прилегающих частях океана, но и по всему пути следования судна.

Геологическими исследованиями были охвачены также некоторые острова по пути следования экспедиционного корабля в антарктических водах. Изучение геологического строения островов и проб каменного материала, добываемого со дна дночерпателями и тралами, позволяет судить о геологическом строении материка Антарктида, скрытого толщами льда. Во время стоянок экспедиционного судна в портах Новой Зеландии и Австралии, а также при посещении зимовок на островах Кергелен и Маккуори советские ученые установили тесные научные связи с зарубежными учеными. Была также достигнута договоренность о дальнейших научных контактах и сотрудничестве в изучении геологического строения Антарктиды и прилегающих морей. Первая советская экспедиция в Антарктику прошла весьма успешно.

Современное фосфоритообразование на шельфах

Фосфориты — осадочные породы с содержанием более 5 % фосфора — распространены преимущественно среди отложений древних морских водоемов, существовавших когда-то на территории современных континентов. Известны также находки фосфоритов на дне океана и на некоторых островах.

Фосфориты широко используются в химической промышленности, прежде всего для производства фосфатных удобрений, без которых невозможно повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Это и обусловливает неуклонный рост добычи фосфоритов и энергичные поиски новых месторождений. Для наиболее рационального проведения поисковых работ необходимо знать, каков основной путь возникновения фосфоритов, но именно по этому вопросу у геологов нет единого мнения. Одни связывают образование фосфоритов с вулканическими, другие — с химическими, третьи — с биологическими процессами. Для разрешения этого спора исследователи не раз привлекали океанографические данные, но любые косвенные аналогии оказывались неубедительными. И лишь в 1968 г. на шельфе Юго-Западной Африки, а позднее на шельфе Чили и Перу были открыты современные фосфориты, что впервые позволило провести прямую аналогию между современным и древним фосфоритообразованием.

На шельфе Юго-Западной Африки фосфатоносные осадки представлены диатомовыми илами, на шельфе Чили — Перу — терригенно-диатомовыми илами и алевритами. Они состоят из обломков кремневых панцирей планктонных диатомовых водорослей, органического вещества, зерен кварца и полевых шпатов и фосфоритов.

Современные фосфориты — это округлые, овальные, плитчатые стяжения, или образования, неправильной формы, размером от долей миллиметра до нескольких санти-

метров. Они различаются между собой по степени плотности и по составу, но при этом укладываются в единый генетический ряд с постепенными переходами от мягких разновидностей к плотным. Наиболее мягкие, полужидкие стяжения есть не что иное, как диатомовый ил, пропитанный аморфным фосфатом, который внешне отличается от вмещающего серо-зеленого ила лишь своим желтоватым цветом.

Следующая разновидность — рыхлые стяжения представляют собой фосфатизированный ил, в котором опал стенок панцирей диатомей частично замещен фосфатом. При более интенсивной фосфатизации образуются уплотненные и плотные стяжения (конкреции), которые по всем основным показателям — химическому и минералогическому составу, структуре фосфата — весьма близки к фосфоритам многих известных промышленных месторождений на суше.

Для обсуждения вопроса об условиях формирования современных фосфоритов необходимы доказательства того, что они действительно являются современными в масштабах геологического времени.

Такие доказательства получены при участии автора и состоят в следующем: 1) заключенные в фосфоритах многочисленные панцири диатомей относятся исключительно к современным видам; 2) абсолютный возраст наиболее молодых фосфоритов не превышает нескольких десятков тысяч лет; 3) абсолютный возраст вмещающих фосфориты и генетически связанных с ними осадков, определенный по радиоуглероду, не превышает 1—4 тыс. лет.

Таким образом, фосфориты на шельфах Юго-Западной Африки, Чили и Перу действительно являются современными. И если искать ключ к решению проблемы фосфоритообразования в океане, то для этого необходимо обратиться к современной обстановке, существующей именно в этих двух районах.

Геолого-геохимические особенности этой обстановки заключаются в том, что современные фосфориты формируются на подводных окраинах континентов, на отлогих участках шельфов, на небольших глубинах — 100—300 м.

Вмещающие фосфориты биогенные осадки резко обогащены (по сравнению с глубоководными океанскими осадками) органическим веществом и связанным с ним геохимически подвижным органическим фосфором. В осадках происходит интенсивный распад органических веществ, и содержащиеся в осадках поровые воды метаморфизируются и приобретают состав, значительно отлича-

ющийся от состава морской воды: они обедняются сульфатами и кальцием, но резко обогащаются растворенными органическими веществами, фосфором, аммиаком, углекислотой, некоторыми тяжелыми металлами.

Океанографическая обстановка в зонах современного фосфоритообразования определяется прежде всего наличием постоянных ветров — южных и юго-восточных пассатов, которые дуют с силой 3—5 баллов в течение большей части года. Эти пассаты в свою очередь возбуждают вдольбереговые течения, представляющие собой в масштабах океана глобальные явления. Бенгельское течение, омывающее побережье Юго-Западной Африки, прослеживается на расстоянии около 1200 миль, а Перуанское, у берегов Южной Америки,— около 2000 миль.

Под воздействием силы вращения Земли поверхностные воды этих течений смещаются от берегов к западу, в сторону открытого океана, что приводит к компенсационному подъему на шельф подповерхностных океанских вод. Характерными чертами этих вод являются низкая температура (11—19°) и повышенное по сравнению с поверхностными водами содержание жизненно необходимых для организмов фитопланктона элементов, в первую очередь фосфора. Благодаря этому развитие фитопланктона в зонах подъема вод происходит чрезвычайно бурно. Вслед за фитопланктоном развиваются все последующие звенья органической жизни — зоопланктон, рыбы, птицы, морские млекопитающие. Зоны подъема вод занимают не более 0, 4 % площади океана, но на их долю приходится примерно половина рыбной продукции океана.

Бурное развитие жизни в зонах подъема вод приводит к ускоренным темпам осаждения на дно остатков организмов и продуктов их жизнедеятельности. Для зон подъема вод характерны также эпизодические массовые заморы фауны, происходящие либо в результате заражения вод поступающим из донных осадков сероводородом, либо при развитии некоторых ядовитых видов планктона.

Благодаря низкой температуре воды и незначительной глубине океана в шельфовой зоне осаждающийся биогенный детрит не успевает разложиться в одной толще и поставляет на дно часть содержавшегося в живых организмах органического вещества и фосфора. Так, доля поступающего на дно фосфора составляет здесь по отношению к его общему количеству, используемому в процессе создания органического вещества, около 0,3%, в то время как в открытом океане соответствующая доля не превышает 0,01%. Именно в этом и заключается причина обо-

гащения шельфовых донных осадков органическим фосфором.

На основе приведенных данных картина современного фосфоритообразования на шельфах океанов представляется в следующем виде.

Фосфор поступает на шельф в составе поднимающихся к поверхности с глубин 100—300 м океанских вод. В поверхностных водах он потребляется фитопланктоном, а затем осаждается на дно в составе биогенного детрита. В донных осадках органический фосфор переходит в поровый раствор и подвергается процессу перераспределения: на отдельных участках осадков создаются условия, способствующие осаждению из раствора фосфата кальция, который и образует гелеобразные массы, обволакивающие нефосфатные частицы осадка. При последующем старении фосфатных гелей происходит их обезвоживание, уплотнение, самоочистка от нефосфатных компонентов путем их растворения и замещения, а также частичная кристаллизация фосфатного вещества. Таким образом, первоначальная структура вмещающего осадка, сохраняющаяся в гелеобразных стяжениях, постепенно уступает место структуре собственно фосфоритовой конкреции, основным компонентом которой является фосфат кальция. По своему составу этот фосфат кальция представляет собой фторкарбонат-апатит, содержащий в среднем около 32 % P_2O_5, 46 % CaO, 4—5 % CO_2.

Сформировавшиеся в результате этого процесса фосфоритовые стяжения представляют собой рудные микроцентры на фоне основной безрудной массы вмещающего осадка, содержащего лишь десятые доли процента фосфора. Для того чтобы образовался собственно фосфоритовый слой, необходим процесс механической сортировки первоначального осадка, что и происходит на шельфах при каждом сколько-нибудь значительном понижении уровня океана, вызванном климатическими или тектоническими причинами. Лишь за последние 200 тыс. лет уровень Мирового океана менялся 8 раз с амплитудой до 100 м; в более отдаленном прошлом эти колебания были еще сильнее.

При понижении уровня океана фосфатоносные осадки попадают в область воздействия волн, которые вымывают тонкие и легкие, преимущественно нефосфатные компоненты, оставляя на дне относительно крупные и плотные фосфоритовые зерна и стяжения. Таким путем сформировались, в частности, фосфатные пески, в основном миоценового возраста, распространенные на шельфах Джорд-

жии (США), полуострова Калифорния, Марокко, а также на внешнем крае шельфа Юго-Западной Африки.

При многократной смене режима устойчивого биогенного осадкообразования и кратковременных перемывов фосфатоносных осадков на современных шельфах в зонах подъема вод могут образоваться слои фосфоритов, общая скорость накопления которых составит около 1 м за миллион лет. Примерно такая же скорость фосфоритообразования характерна для многхид ревних фосфоритоносных бассейнов.

По монологии, составу и структуре зерна и желваки древних фосфоритов практически не отличаются от современных. О формировании древних фосфоритов в результате механического обогащения фосфатоносных осадков свидетельствуют следы перемывов в основании и внутри фосфатоносных толщ.

Эти факты свидетельствуют о том, что в ряде древних водоемов фосфоритообразование происходило по той же схеме, что и в современном океане.

Что можно сказать в свете новых данных о разработанных ранее гипотезах фосфоритообразования?

Хемогенная гипотеза, постулирующая осаждение фосфата кальция непосредственно из вод бассейна на дно, не подтвердилась. Процесс хемогенного осаждения фосфата кальция происходит только в осадке, точнее, в поровых водах, содержащих до 10 мг/л растворенного фосфора, в то время как в морской воде его содержание составляет в среднем 0, 07 мг/л. В то же время эта гипотеза содержит в себе ценное рациональное зерно — предвидение того, что фосфоритообразование связано с подъемом вод.

Вулканогенная гипотеза, объясняющая фосфоритообразование вулканическими процессами, также не подтверждается: ни в одном из центров современной вулканической деятельности фосфориты не обнаружены, хотя несомненно, что в течение геологической истории Земли вулканический источник играл важную роль в поставке фосфора в океан.

Биолитная гипотеза связывала фосфоритообразование с накоплением на дне фосфатных остатков организмов. Однако это лишь предпосылка фосфоритообразования, включающего в себя другие необходимые для реализацин этого процесса этапы.

Наконец, биохимическая гипотеза учитывает и биогенный и диагенетический факторы фосфоритообразования, но источником фосфора, согласно этой гипотезе, являются реки, а фактору перемыва осадков придается подчиненное

значение. В связи с этим надо отметить, что в зонах современного фосфоритообразования речной сток практически отсутствует, в то время как в устьях рек нет фосфоритов. Кроме того, подъем вод в районе лишь шельфа Перу поставляет в 20 раз больше фосфора, чем все реки земного шара, вместе взятые, поставляют его в Мировой океан. Таким образом, в смысле поставки фосфора в зоны фосфоритообразования речной сток ни в коей мере не может конкурировать с подъемом вод.

Что же касается перемыва осадков, то этот этап столь же необходим для фосфоритообразования, как и все остальные: без него может сформироваться фосфатоносная толща с рассеянными включениями фосфоритов, но никак не фосфоритовый пласт.

Итак, современное фосфоритообразование состоит из пяти этапов: 1) поставка растворенного фосфора на шельф океанскими водами; 2) потребление фосфора живыми организмами; 3) осаждение фосфора на дно в составе биогенного детрита; 4) перераспределение фосфора в осадках и образование фосфоритовых конкреций; 5) перемыв фосфатоносных осадков и формирование фосфоритовых слоев.

Предшествующие гипотезы фосфоритообразования, разработанные на основе данных по древним фосфоритам, отражали в силу неполноты геологической летописи только отдельные звенья этой цепи. Воссоздать же ее всю удалось только благодаря исследованию современного фосфоритообразования.

Вероятно, приведенные выше выводы не являются универсальными для фосфоритообразования в целом, но применимость их к месторождениям кайнозойского и мезозойского возраста доказана путем достаточно четких литологических (состав пород), петрографических и химических (состав фосфоритов) и палеогеографических (позиция фосфатоносной зоны) сопоставлений. Таким представляется основное практическое значение новой схемы фосфоритообразования, которая позволяет дать однозначный ответ на ряд спорных вопросов этой проблемы.

Фотоглаз в глубинах океана

Погружения в морские глубины для наблюдений за жизнью, таинственной и недоступной, всегда манили человека. Древние легенды, старинные гравюры и рисунки рассказывают об упорных попытках заглянуть в неведомый подводный мир. Известно, что Александр Македонский спускался на морское дно в специальном стеклянном колоколе. В IV в. н. э. Вегеций описывает кожаные водолазные шлемы с воздушными трубками. Множество проектов различных скафандров появилось в эпоху Возрождения. Несколько эскизов подводных лодок и снаряжения для подводных пловцов сделал Леонардо да Винчи. Нет нужды перечислять все этапы развития подводных исследований до сегодняшних батискафов. Каждый новый подводный аппарат и погружение в нем приносили новые сведения о строении морского дна.

Однако современные батискафы сложны и дороги. И всегда остается доля риска для акванавта. Кроме того, исследователей моря интересуют не только крупные формы рельефа, создававшиеся в течение длительных геологических эпох, но и тончайший рисунок поверхности океанического ложа, мелкие неровности — микрорельеф, который формируют современные рельефообразующие процессы.

Изучение микрорельефа только начинается, и оно полностью обязано подводной фотографии. Сегодня фотокамера может доставить на борт судна и на рабочий стол исследователя снимки дна практически с любых глубин океана. Снимки обычные, цветные, стереоскопические.

Подводная фотографическая техника еще молода. Первую подводную камеру сконструировал французский ученый Луи Бутан в 1893 г. В 30-х годах нашего века появились малогабаритные аппараты, которые легко помещались в водонепроницаемые корпусы. Началось массовое

увлечение подводной фотографией. И ученые, и фотографы-спортсмены с портативной камерой в легких водолазных костюмах или без них бесстрашно опускались под воду, чтобы запечатлеть на пленке морское дно. Океанологи понимали, какие богатые возможности обещает подводная фотография, и во многих научно-исследовательских институтах стали появляться достаточно сложные подводные фотокамеры для съемок на больших глубинах.

В нашей стране первые глубоководные снимки были получены с борта прославленного исследовательского судна «Витязь» фотокамерой, созданной в Институте океанологии имени П. П. Ширшова. И первые же результаты — даже единичные снимки — превзошли все ожидания. Оказалось, что на больших глубинах дно океана имеет совершенно другой облик, чем предполагалось ранее.

Изучая тысячи фотографий морского дна — неопровержимые и достоверные данные о жизни глубин,— исследователи теперь отказываются от некоторых привычных понятий. Долгое время считалось, что воды океана наиболее подвижны лишь в верхнем слое, не глубже 200—300 м. Но полученные снимки микрорельефа опрокинули это представление. Многочисленные упорядоченные «знаки ряби» свидетельствуют о сильных придонных течениях, формирующих эрозионный микрорельеф. Кроме того, на многих снимках заметны промоины в осадках, борозды, отложения ила в виде «хвостов», вытянутых по направлению течения. Можно видеть и косвенные признаки сильных течений: обнаженные скалы, изгиб веточек донных животных и их ориентация.

Изучая подводные фотографии, исследователи узнали много неожиданного (и многое еще не разгадали) о жизни глубин. Оказалось, что на мягких осадках повсюду встречаются многочисленные борозды, углубления, холмики, гряды и норы. Это биогенный микрорельеф. Илистый грунт «записывает» все моменты жизни донного животного. За деятельностью организмов, живущих в грунте, можно проследить по выпуклым, извилистым или спиральным следам, невысоким валикам, напоминающим ходы кротов. Но сами животные почти никогда не попадают в поле зрения фотокамеры. Почему? В центральных районах океана скорость осадконакопления чрезвычайно мала (за 1000 лет на дне осаждается всего несколько миллиметров ила), так что след, оставленный животным, может сохраняться в течение многих сотен лет. Некоторые следы, заметные на дне, столь необычны и причудливы, что остается приписать их неизвестным животным.

Геологи при наземных изысканиях обнаруживают в осадочных породах следы ископаемой фауны, похожие на современные, которые мы видим на снимках океанического дна. Сравнение этих следов поможет установить условия образования горных пород и связанных с ними месторождений полезных ископаемых.

Изучение следов глубоководных донных организмов, разгадка их происхождения — одна из интереснейших задач, поставленных подводной фотографией. Однако есть и другие, не менее интересные.

Уже первые океанографические экспедиции середины XIX в. обнаружили в глубоководных осадках океанических котловин удивительные образования черно-бурого цвета. Их назвали железо-марганцевыми конкрециями. Эти своеобразные стяжения или желваки концентрического строения, подобно луковице или кочану капусты, образуются вокруг небольших ядер — кусочков базальта, зубов акул, слуховых косточек китообразных и т. д. Конкреции бывают самой разнообразной формы: овальные, шаровидные, почковидные, плоские. Их размеры от 1 до 20 см и более. Чаще всего конкреции походят на картофель средней величины. Благодаря систематическому фотографированию стало известно, что железо-марганцевые конкреции занимают огромные пространства ложа океана, создавая особый тип микрорельефа — хемогенный. Располагаются они в основном на поверхности осадка — на красных глубоководных глинах. Иногда конкреций бывает так много, что дно напоминает старую булыжную мостовую.

Происхождение конкреций до сих пор не совсем ясно. Большинство специалистов полагают, что в образовании конкреций существенны коллоидно-химические процессы и реакции осаждения железа, марганца и других элементов из морской воды. Конкреции — это богатая марганцевая руда с большим содержанием меди, никеля и кобальта. Их запасы на дне колоссальны. Сейчас разрабатывается методика массового сбора океанических конкреций для промышленного использования.

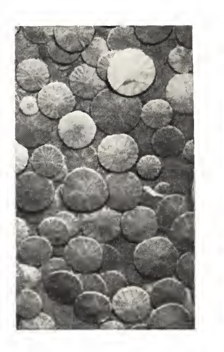
В настоящее время изучению микрорельефа уделяется самое пристальное внимание. Так, в нескольких рейсах «Витязя» было проведено фотографирование дна северной части Индийского океана. Было получено много интересных снимков, имеющих большую научную ценность и позволивших составить схему распределения типов микрорельефа дна Индийского океана. На схеме выделены: равнины, поверхность которых изобилует следами жизнедея-

тельности донных организмов; холмистое дно с полями железо-марганцевых конкреций и выходами скал, покрытых железо-марганцевой коркой; подводные хребты с обнаженными скалами. В редких понижениях между скалами можно встретить пятна рыхлых осадков.

Биогенный микрорельеф преобладает на периферии океана, куда с материков поступает много взвешенного материала, включая и органический (источник питания придонных животных).

Хемогенный микрорельеф преобладает в центральных районах океана, куда осадочного материала поступает мало. Эрозионный микрорельеф чаще встречается на вершинах срединно-океанических и других крупных подводных хребтов. Здесь сильные течения препятствуют отложению осадочного материала, и он опускается глубже, в более спокойные участки океана.

Мы рассказали о том, как подводная фотография помогает выявить закономерности в распределении различных типов микрорельефа океанического дна, наглядно демонстрирует большое разнообразие и роль современных рельефообразующих процессов, а также показывает, как много неразгаданных явлений, происходящих в глубинах океана, предстоит еще изучать геологам, биологам, гидрологам и другим специалистам.





Пролив Лаперуза, глубина 40 м

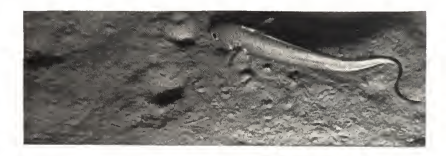
Тихий океан. Верхняя часть материкового склона Аляски, глубина 178 м



Тихий океан. Верхняя часть склона у Курильских островов, глубина 261 м







Тихий океан. Материковый склон в районе залива Аляска, глубина 374 м

Тихий океан. Материковый склон в районе залива Аляска, глубина 374 м

Тихий океан. Материковый склон в районе залива Аляска, глубина 877 м

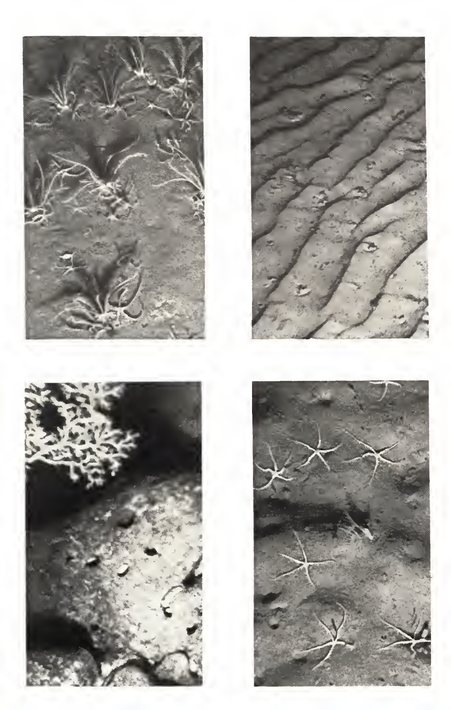
►

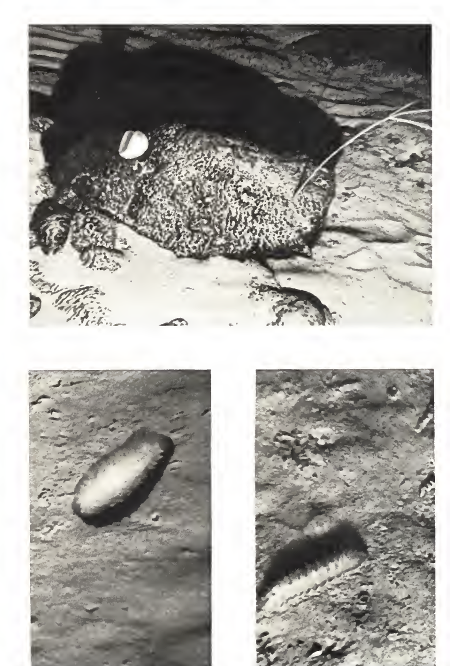
Тихий океан. Материковый склон у залива Аляска, глубина 896 м

Тихий океан. Вершина горы «Витязь», глубина 900 м

Индийский океан. Склон горы Щербакова, глубина 1800 м

Тихий океан. Материковый склон у Алеутских островов, глубина 1955 м





◄

Индийский океан. Вершина горы Щербакова, глубина 1500 м

Тихий океан. Материковый склон у острова Хонсю, глубина 2800 м

Атлантический океан. Материковый склон Африки, глубина 1360 м

►

Море Банда. Склон поднятия, глубина 2800 м

Тихий океан. Склон подводной горы, глубина 3000 м

▼

Тихий океан. Склон Перуанско-Чилийского желоба, глубина 4120 м











Тихий океан. Чилийская котловина, глубина 4040 м

Тихий океан. Склон Перуанско-Чилийского желоба, глубина 4120 м

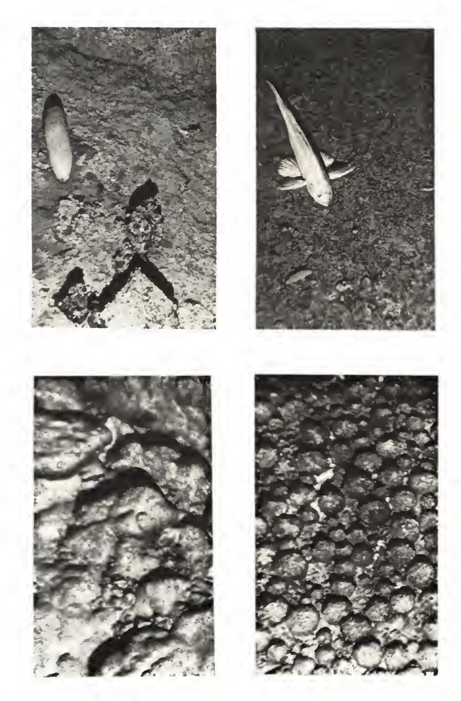
►

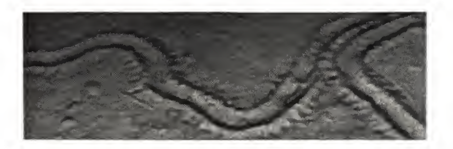
Индийский океан. Склон абиссального холма, глубина 5040 м

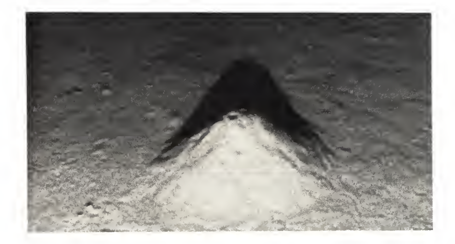
Тихий океан. Вершина абиссального холма, глубина 4270 м

Индийский океан. Вершина абиссального холма, глубина 4610 м

Тихий океан. Вершина абиссального холма, глубина 4780 м







Тихий океан. Склон желоба «Витязя», глубина 5160 м

Тихий океан. Склон желоба «Витязя», глубина 5160 м



Тихий океан. Восточно-Марианская котловина, глубина 5718 м

«Ревущие сороковые»



◄

За прибором для спектрального анализа сигналов от самописцев

◄

Фотометр, измеряющий излучение, выходящее из моря

◄

Батометр объемом 200 литров для взятия проб воды

►

Установка измерителя градиента скорости ветра



Измеритель метеорологических характеристик над поверхностью океана



Измеритель течений на больших глубинах

▶

Буксируемое устройство для гидрофизических измерений

▶

Датчики для измерения пульсаций температуры и электропроводности

▶

«Гидроплан» — автономное устройство для измерения пульсаций скорости, электропроводности и температуры воды











Прибор для измерения тонкой вертикальной структуры, температуры и электропроводности воды



Акванавт за измерением наносов на дне океана

◄

Акванавт у подводной вибробуровой установки для отбора грунта

◄

Установка для измерения течений на буксирной линии

◄

Плавучий буй, устанавливаемый на якоре

«Обь» в береговом припае Антарктиды

«Обь» на подходе к шестому материку



Жизнь океана

Жизнь в океане

226 Природу океана можно (и нужно) представить как грандиозный процесс трансформации и обмена энергии и веществ. При этом физические, химические, биологические и геологические процессы объединяются (несмотря на все различия в их существе), формируя единую природу океана.

Вся проблема в целом является, по нашему мнению, центральной проблемой современной океанологии, а ее биологическая часть — одним из основных разделов изучения океана, особенно ввиду того, что использование биологических ресурсов Мирового океана является важнейшей частью эксплуатации его природных ресурсов.

Со времени образования океана идет эволюция его природы под воздействием различных процессов. Среди них важнейшие:

1. Космические: солнечная радиация; гравитационное притяжение Луны и Солнца; поток метеорных частиц. При этом особенно надо подчеркнуть роль Солнца — главного энергетика, главного работника на земной поверхности.

2. Земные. А — небиологические: геологическая история Земли; тектонические; литологические (минеральные) осадкообразования; геохимические; солевой состав вод; движение вод; вращение Земли; притяжение к центру Земли; сейсмические и вулканические; поток тепла, идущий из недр Земли через дно океана; магнитные и другие физические поля; взаимодействия океана с континентами, с атмосферой, с глубинными слоями Земли, мантией. Б — биологические: возникновение и эволюция жизни в океане; усвоение солнечной энергии и накопление свободной энергии в телах организмов; биосинтез органических веществ за счет неорганических; биологическая продуктивность; биохимическое перераспределение энергии

и веществ; биоседиментация*; биофизические (биооптические, биоакустические, биоэлектрические и т. д.).

Космические влияния часто трудно отделить от земных, ибо, достигнув Земли, они становятся неотъемлемой частью нашей планеты и вместе оказывают воздействие на природу океана.

Это далеко не полный перечень различных процессов, влияющих взаимосвязанно на формирование природы океана. Среди них космические и земные небиологические существуют со времен образования водной массы океана. Биологические влияния существуют со времени развития жизни в океане. Характер небиологических воздействий принципиально мало изменился за многомиллиардную историю эволюции океана. Зато участие живых организмов в трансформации и обмене энергии и веществ существенно изменилось. Появление живых существ в океане изменило характер трансформации энергии и обмена веществ в нем, и в первую очередь химических процессов.

В. И. Вернадский писал, что «по существу живое вещество охватывает своим влиянием всю химию земной коры и направляет в ней, почти для всех элементов, их геохимическую историю» и, более того, что живые организмы — могущественная сила на Земле и всевозрастающая с ходом времени.

Новое качество — жизнь — столь специфично, что заставляет поставить влияние биологических процессов на природу океана в равное положение с космическими и земными небиологическими влияниями. Взаимодействие космических, земных небиологических и биологических процессов столь тесное, что физические, химические, биологические и геологические процессы в «чистом» виде почти не протекают. Все они взаимообусловлены. Этому содействует и то, что само «тело» океана — вода — всегда находится в движении и происходит перемешивание всей массы воды со всем в ней находящимся.

В результате этих процессов происходят грандиозная трансформация и обмен энергии и веществ в океане, формирующих его природу в вечном изменении. Разнообразие трансформации чрезвычайно бесконечно увеличивается в результате многофакторного взаимодействия. В итоге формирование природы океана обусловлено чрезвычайным разнообразием включающихся в круговорот процессов. В настоящее время все в большем масштабе возрастает

* Седиментация — процесс накопления отложений на дне океанов, морей и т. д.

влияние человека на природу, в том числе и на океан. Этот антропогенный фактор по некоторым показателям уже сопоставим с природными процессами, и он все возрастает с течением времени.

«Единство в многообразии»— вот истинный девиз природы океана.

Солнце находится на расстоянии 150 млн. км от Земли. Несмотря на это, солнечная энергия — главный работник на поверхности нашей планеты.

Если при процессах в неживой природе используемая солнечная энергия (нагрев воды, движение вод и др.) только рассеивается, то в процессе фотосинтеза она аккумулируется. Накопленная в организме свободная энергия многократно используется в жизни обитателей всей водной толщи, в различных химических процессах и осадкообразовании.

Солнечный свет дает энергию первичной биологической продуктивности — этой важнейшей части процесса трансформации и обмена энергии и вещества в океане, осуществляемой живыми организмами. Все они разнообразно воздействуют на химию вод и илов, участвуют в осадкообразовании и влияют на некоторые физические процессы.

В силу различных причин в разных районах Мирового океана утилизация солнечной энергии меняется очень сильно. О. И. Кобленц-Мишке определила, что в высокопродуктивных районах океана она равна 0,33 % от энергии, падающей на его поверхность, а в бедных фитопланктоном районах — всего 0, 02 %. Малая утилизация не должна нас удивлять. Ведь большая часть акватории океанов бедна питательными веществами. Кроме того, фитопланктон обитает в стометровой толще поверхностных вод. В этих условиях количество солнечной энергии, которую могут активно использовать водоросли, резко уменьшается с глубиной. И если в верхней части обитаемых вод водоросли полностью автотрофны, то с определенной глубины они становятся миксотрофными, т. е. частично используют углерод готовых органических веществ.

В среднем для Мирового океана утилизация солнечной энергии фитопланктоном равна примерно 0,04 %. Ничтожность освоения солнечной энергии лишь кажущаяся. Ведь процесс фотосинтеза идет более трех миллиардов лет. Таким образом, ежегодное освоение 0,04 % солнечной энергии выражается в процессах формирования природы океана колоссальной величиной. Она в миллион раз превышает общую сумму годовой энергии солнечной радиации, проникающей в воды океанов!

В проблеме трансформации и обмена энергии и веществ в океане весьма существенно определение судьбы продуцируемого в результате фотосинтеза свободного газообразного кислорода и потребление некоторых элементов, особо важных для построения клеточных образований. В процессе первичного продуцирования Мирового океана

выделяется:	кислорода	— 36 млрд. т в год*
потребляется:	азота	— 4 » » »
	фосфора	— 0,5 » » »
	железа	— 1,2 » » »

Ежегодное извлечение 6 млрд. т азота, фосфора, железа, а также других элементов из морской воды составляет лишь небольшую часть общего количества этих веществ, растворенных в водах океана. Причем эти питательные вещества извлекаются из тонкого поверхностного слоя воды, где идет фотосинтез. Здесь влияние фитопланктона, а в прибрежных водах и фитобентоса на количество биогенных веществ весьма существенно. Если бы отсутствовало пополнение этих веществ, то в течение года был бы потреблен весь азот, а в течение двух лет — весь фосфор. Благодаря деятельности бактерий отмершие организмы и их выделения быстро разлагаются, и необходимые элементы поступают опять в круговорот биологического синтеза. Кроме того, вследствие перемешивания вод поверхностные воды, где идет фотосинтез, снабжаются питательными веществами, в изобилии находящимися в глубине.

Общий элементарный состав морских организмов определен был А. П. Виноградовым в следующем количестве: кислород, водород, углерод — от 10 до 70 %; кальций, азот, калий, кремний — от 0,15 до 0,5; фосфор, марганец, сера, хлор, натрий, алюминий, железо — от 0,02 до 0,7 % и в меньших или даже ничтожных количествах еще более 20 различных элементов, также необходимых для нормальной жизнедеятельности организмов. Химический состав различных организмов, естественно, не соответствует тем концентрациям, которые наблюдаются для этих элементов в воде. Они избирательно концентрируют различные элементы. Так, стронций, магний, кальций извлекаются различными организмами в 10 — 100-кратном размере по сравнению с их обычной концентрацией в морской воде; концентрации в организмах марганца и лития могут быть

---

* Есть основание считать, что объем выделяемого кислорода значительно превышает эту величину.

в 1—10 тыс. раз больше, чем в морской воде; меди, цинка, бария — в 10—100 тыс.; железа, алюминия, серебра, фосфора, кремния — более чем в 100 тыс.— 1 млн. раз.

Процесс извлечения различных элементов организмами идет со времени развития жизни в океане, т. е. имеет историю, насчитывающую миллиарды лет, и если бы после их гибели и последующего разложения составные элементы не возвращались, то воды океана лишились бы всех этих веществ. Ведь их количество ограничено. Благодаря циклическому характеру круговорота веществ с участием организмов различные элементы возвращаются в среду. В. Р. Вильямс указывал, что единственный способ при-
230 дать ограниченному количеству свойство бесконечного — это заставить его вращаться по замкнутой кривой. Однако цикличность зависит от масштаба времени. Большинство веществ, потребляемых планктоном, быстро возвращается за счет регенерации, идущей в окружающей среде. Более медленно восстанавливается круговорот веществ за счет циркуляции вод, приносящих в зону фотосинтеза различные элементы из глубинных слоев воды, куда они поступили давно. Если иметь в виду миллионы лет, то часть растворенных в воде веществ переводится организмами в осадки на дне. Они «захороняются», превращаются в осадочные породы и почти полностью выключаются из круговорота веществ, связанных с жизнью в толще воды. Если иметь дело с большими геологическими периодами, то осадочные породы, оказавшись над уровнем океана — сушей, подвергнутся размыву или ветровой дефляции и попадут в море. Далее, растворившись в воде, они войдут в круговорот жизни. Все эти круговороты происходят постоянно. Существует обмен веществ между нашей планетой и Вселенной. Часть веществ уходит через атмосферу от Земли. Взамен Земля получает из космического пространства ежегодно сотни тысяч, а некоторые считают — миллионы тонн различных веществ в виде метеоритов и особенно космической пыли.

Ежегодно реки вносят в океан более 12 млрд. т твердых минеральных частиц, которые в виде терригенного материала осаждаются на дне, причем более крупные — вблизи берега, а мельчайшие разносятся течениями по всей акватории океана. Кроме того, океан получает с материковым стоком около 3 млрд. т растворимых веществ (примерно 60% составляет $CaCO_3$ и 25% — соединение азота, фосфора, кремния и различных органических веществ). Большинство их извлекается организмами и включается в биологический круговорот. Благодаря этому поддерживает-

ся постоянство солевого состава вод океана, который отличается от состава солей речных вод. Почти 1,4 млрд. т вносимого реками карбоната кальция отлагается в раковинах и скелетах различных организмов. Среди них особую роль играют известьсодержащие корненожки, кораллы, моллюски, водоросли литотамнии и многие другие.

Биологическая трансформация взвеси в океане имеет значение и для осадкообразования. Благодаря хорошей перемешиваемости вод океана принесенные речными водами вещества разносятся по всей акватории, используются и отлагаются там, где имеются подходящие условия. Теплые тропические воды насыщены $CaCO_3$. Поэтому скелеты в них не растворяются и образуют большие скопления — коралловые рифы и острова. Холодные воды умеренных и полярных областей и абиссальных глубин свыше 5 км не насыщены $CaCO_3$. Там известковые скелеты не образуют скоплений, так как растворяются.

В общей сложности организмы трансформируют в океане более 2 млрд. т различных веществ, приносимых ежегодно реками.

Кроме известьсодержащих широкое распространение имеют организмы с кремневым скелетом, особенно диатомовые и радиолярии. Диатомовые илы распространены в умеренных областях северного и южного полушарий, где массы диатомей составляют основу фитопланктона. Радиоляриевые илы занимают обширные площади в тропической области, т. е. там, где радиолярии обычны в зоопланктоне.

Хотя в илах на дне «захороняется» менее 1 % органических веществ, произведенных в слое фотосинтеза, но это «ничтожное» количество играет исключительную роль в океаническом осадкообразовании. Особенно важно то, что с органическим веществом приносится свободная энергия. Она служит стимулятором процесса диагенеза * осадка. Н. М. Страхов называет раннедиагенетическую стадию преобразования осадков биогенной стадией. Дошедшие до дна органические и минеральные частицы представляют собой сложную смесь, между отдельными компонентами которой возникает активное взаимодействие при участии свободной энергии, аккумулированной в органическом веществе. Под воздействием этих биогенных агентов происходит изменение физико-химических и химических усло-

* Диагенез — процесс физического и химического преобразования рыхлых осадков на дне водоемов в осадочную породу.

вий и осуществляется начало преобразования осадков в породу.

Живые существа, особенно планктон, оказывают существенное влияние и на многие физические процессы. На поверхности планктонных организмов накапливаются электрические заряды различного знака: отрицательные — на живых существах и положительные — на мертвых. В результате распределение планктона вызывает изменение естественного электрического поля.

Скопления планктона и мелких рыб образуют звукорассеивающие слои, что влияет и на характер распространения звука. Акустическая волна, встречая организмы,

рассеивается и поглощается; благодаря разности в упругих свойствах их тканей по сравнению с упругостью воды происходит потеря энергии звука.

Обилие планктона уменьшает прозрачность воды. Во время экспедиции на «Витязе» в центральную часть Тихого океана мы наблюдали при переходе из северной пассатной зоны в межпассатную уменьшение прозрачности воды на 10 м. В результате в межпассатной зоне освещенность на глубине 10 м составила 33 % суммарной, а в северной пассатной зоне — 49 %; соответственно на глубине 25 м в первой — 16, а во второй — 30 %. Меняется и спектральный состав света, проникающего на различную глубину. В богатой планктоном межпассатной зоне на глубину 10 м проникает в 4 раза меньше красных лучей, чем в бедной планктоном северной пассатной зоне. На глубине 20 м в первой зоне в 2 раза меньше оранжевых и желтых лучей; на глубине 30 м в 3 раза меньше зеленых и в 2,5 раза меньше синих и фиолетовых лучей.

Как видим, происходит значительное изменение количества спектрального состава света и в поверхностном слое воды. Оно влияет на процессы фотосинтеза, с которым связана продукция планктона, трансформация энергии и веществ в океане.

Незначительность биологического воздействия на физические процессы только кажущаяся. Ведь всегда нужно учитывать фактор времени.

В океане вода всегда находится в соприкосновении с живыми организмами. Объем воды, фильтруемой обитателями океана, колоссален. Г. Г. Винберг считает, что планктонные ракообразные фильтруют за сутки до 360 мл, а в среднем около 200 мл воды в пересчете на 1 мг их сырого веса. Таким образом, весь объем вод Мирового океана может быть профильтрован за год. Но 65 % всей массы зоопланктона живет в верхних 0—500 м воды. Объем этих

вод составляет 12,5% вод океана, или 170×10^6 куб. км, а биомасса зоопланктона — 13×10^9 т. Следовательно, весь объем наиболее обитаемых вод профильтровывается примерно за 65 суток. Далее, фильтраторами являются и многие бентосные животные. Огромные массы воды проходят через дыхательные системы всех организмов, при этом воды пополняются CO_2 и отдают кислород. Кроме того, воды океана насыщены растворенными в них метаболитами. Все они продолжают оказывать влияние на среду обитания, часто близкое по своей природе к влиянию живых организмов.

Биосфера в океане, созданная мощным воздействием организмов, продолжает изменяться, стабилизироваться и опять изменяться при активном участии живых существ. При этом они живут в условиях, изменяемых самими организмами.

Биосфера океана

Термин «биосфера», предложенный известным австрийским геологом Зюссом, в понятие был разработан В. И. Вернадским. Широкое признание получили воззрения В. И. Вернадского на биосферу как на оболочку нашей планеты, пронизанную жизнью, где в результате деятельности живых организмов происходят превращения в неорганической среде.

К сожалению, часто биосферой называют только совокупность организмов, что противоречит плодотворным идеям В. И. Вернадского. Он разделял все вещества на живые, биокосные и косные. К биокосным он относил воду, атмосферу, почву и верхний слой пород, которые подвергались воздействию живых существ. Таким образом, частью биосферы Земли является вся водная толща и илы (осадки) на дне океана.

Известное определение В. И. Вернадского, что биосфера — термодинамическая оболочка с температурой от +50 до —50°С и давлением около 1 атм, пригодно только в общем виде, и только для воздушной среды. Благодаря особым термическим качествам воды (теплопроводность, скрытая теплота плавления и расширения при замерзании) живые существа обитают в океане при температуре не выше +30 и не ниже —2°С (морская соленая вода замерзает около —2°С). Таким образом, диапазон приспособления к изменениям температуры у морских организмов меньше, чем у наземных. Разница же в давлении, при котором

обитают различные океанические животные, значительна. С каждыми 10 м глубины давление увеличивается на 1 атм. Следовательно, на максимальных глубинах животные существуют при давлении более 1000 атм. Никакой естественный панцирь (кроме стального!) не защитил бы их от раздавливания. Их надежной защитой является малая сжимаемость жидкостей. А все полости животных заполнены жидкостями, давление в которых равно внешнему. Это спасает их.

Таким образом, биосферу океана можно характеризовать как термодинамическую оболочку с температурой от +30 до —2°C и давлением от 1 до 1000, вернее, до 1100

атм.

Трудно точно датировать время появления организмов и начало тех изменений природы океана, которые связаны с возникновением жизни. Можно лишь предположить, что абиотическая стадия существования океана продолжалась менее миллиарда лет. В том безжизненном океане осуществлялась химическая эволюция, при которой образовывались различные органические вещества; среда была восстановительная, преобладало выделение углекислого газа над его потреблением.

Различные органические соединения образовались в воде океанов радиогенным и фотогенным способами. Небольшое количество кислорода и азота в тогдашней атмосфере (вероятно, менее 0,1 по сравнению с современной) не препятствовало мощному солнечному и космическому облучению Земли. Под действием космической и ультрафиолетовой солнечной радиации происходил синтез органических соединений из продуктов вулканических эманаций.

В книге А. И. Опарина «Происхождение жизни на земле» дано представление о возможном процессе возникновения (образования) живых существ. В силу этого нет надобности перечислять разнообразные органические молекулы и процесс их усложнения до образования веществ, предшествовавших развитию из них живых организмов. Важно отметить, что первые живые существа появились в океане, так как вода защищала их от губительных излучений; наличие воды препятствовало повышению температуры среды, окружающей развивающиеся организмы. Воды океанов охлаждали залитую ими поверхность земной коры и атмосферу.

Жизнь зародилась в океане — считают А. П. Виноградов, Л. А. Зенкевич, С. А. Зернов, А. И. Опарин и многие другие исследователи.

Первые живые существа были гетеротрофны. Они питались готовыми органическими веществами, обильно растворенными в водах океана. Основой их жизнедеятельности был ферментативный механизм питания.

Возникновение жизни было крупнейшим событием в истории нашей планеты. Все, или почти все, признаки жизни можно видеть в неживых системах. Однако их совокупность существует только в живых организмах: обмен веществ, размножение, саморегуляция, биологическая продуктивность и др.

Как ни мала клетка, но в силу особой организации жизни в ней осуществляется такая система регулируемых процессов, при которой свойства целого превосходят сумму действия частей, составляющих клетку. В живом организме, даже самом примитивном, происходит характерный для данного вида последовательный процесс превращений, приводящий к построению клетки и воспроизведению ее подобия. Этот процесс хотя и зависит от элементов, слагающих тело клетки, но может происходить только в живой клетке, принадлежит клетке, а не сумме ее элементов, какими бы совершенными они ни были. Если внешние условия не препятствуют, то клетка производит все необходимые ей виды молекул постоянно и без ограничений, в масштабе своих потребностей. Клетка избирательно извлекает элементы из питающей ее среды. В силу этого химический состав клетки значительно отличается от среды, в которой она живет.

Организмы внесли особую форму взаимосвязи материи и энергии как внутри клетки, так и с окружающей средой. В отличие от большинства химических реакций в живом организме сложнейшие процессы совершаются при небольших температурах, малых давлениях и неагрессивных средах. В организме обмен энергии регулируется, так что создается энергетический потенциал между организмами и средой, а автотрофы накапливают свободную энергию. Процесс перераспределения энергии и веществ сбалансирован и строго контролируется. Пространство и время в жизнедеятельности организмов и их связи со средой приобрели особое значение. Медленное течение химической эволюции сменилось бурным темпом трансформации и обмена энергии и веществ в океане под воздействием живых существ. Этому содействовала присущая живому грандиозная способность к воспроизводству.

Образовавшийся Биотический океан принципиально отличался тем, что к господствовавшим до его формирования космическим и земным небиологическим воздействиям

на его природу прибавилось воздействие живых существ. Это влияние с течением времени все увеличивалось.

По масштабу событий, связанных с развитием жизни в Биотическом океане, его эволюцию можно разделить на две стадии. Первая — Древнейший океан, характеризующийся возникновением жизни и первоначальным ее развитием. Условия среды были восстановительными. В нем обитали древние анаэробные гетеротрофные организмы. Окисление у них шло за счет кислорода, входящего в молекулы органических веществ. Из них же они получали углерод, необходимый для построения клеточного вещества. Окисление получаемых клеткой органических веществ обеспечивало процессы питания необходимой энергией.

Постепенно у некоторых форм древних гетеротрофов возник и стал совершенствоваться порфиринсодержащий пигментный воспринимающий аппарат для использования световой энергии. О значении порфирина М. Кальвин пишет: «Здесь мы имеем еще один случай, когда вещество, однажды образовавшись, катализирует свое собственное образование... Когда гем (железопорфириновое соединение) соединяется со специфическим белком, тогда каталитическая активность возрастает еще в миллион или 10 миллионов раз».

Развившиеся существа получили возможность частичного биосинтеза органических соединений за счет неорганических веществ, используя энергию солнечного света. Про древние фотосинтезирующие бактерии А. А. Красновский пишет, что они «еще «не умеют» выделять кислород воды в молекулярной форме и осуществляют более дешевый в энергетическом отношении тип фотосинтеза». Эти бактерии продолжали действовать в восстановительной среде. Однако порфирины в силу особенностей их спектра не могут обеспечить достаточно полного использования видимой части солнечной радиации. Последующая эволюция усовершенствовала аппарат использования света и привела к образованию хлорофилла. Хлорофилл стал основным звеном между энергией Солнца и жизнью на Земле.

Развитие хлорофиллоносных организмов было событием колоссальным. По своему значению в развитии жизни на Земле оно уступало только процессу возникновения первых живых существ. В процессе фотосинтеза организмы стали преобразовывать электромагнитную энергию света в химическую, используя реакцию между CO_2 и водой. Исследованиями А. П. Виноградова и других было установлено, что в процессе фотосинтеза водород воды сое-

диняется с CO_2. Образуются углеводы. При этом выделяется молекулярный кислород и восстанавливается углерод. В результате в клетках возникает запас свободной энергии, которая используется в энергетических и конструктивных процессах в живом организме, а также и после его смерти. Далее в клетке к углеводородам присоединяются азот, фосфор и другие элементы, образуя различные белки — основу жизни. С возникновением этой второй «фотосинтетической» стадии развития Биотического океана основные процессы, как биологические, так и связанные с ними геохимические, пошли другим путем. Пришел конец господству восстановительных условий в океане, а затем и в атмосфере. Выделявшийся в ходе фотосинтеза молекулярный кислород преобразил всю водную массу океана в окислительную. Резко понизилось количество CO_2. Возникли и развились новые — аэробные — гетеротрофные организмы, питавшиеся водорослями, растительноядными существами, детритом.

Процесс фотосинтеза, развившийся более трех миллиардов лет назад, коренным образом изменил и эволюцию жизни, и эволюцию океана в целом. Эволюция жизни стала идти значительно быстрее и разнообразнее. Трансформация и обмен энергии и веществ в океане пошли принципиально другим путем. Так, например, известняки в разные геологические периоды образовывались различными организмами, но условия среды были окислительными. Зато в восстановительных условиях таких отложений вообще не могло быть.

Несмотря на кажущуюся парадоксальность, летосчисление океана современного типа надо отнести ко времени развития фотосинтеза и начавшегося господства окислительной среды.

С тех пор и поныне основные процессы протекают в общем тем же путем, каким они начали идти около трех миллиардов лет назад, хотя и под воздействием других организмов. Каково было строение и внешний вид тех древнейших организмов, нам мало известно. Их окаменевших остатков пока найдено немного.

Итак, около трех миллиардов лет назад океаны заселились организмами, способными преобразовывать энергию световых квантов в энергию химического синтеза внутри клетки. Новый биосинтез (фотосинтез) позволял усваивать более бедные энергией неорганические вещества — CO_2, H_2O и многие другие, которых гораздо больше в природе, чем готовых (богатых энергией) органических субстратов. В результате развились автотрофный тип питания и сис-

тема первичного* продуцирования органического вещества. В настоящее время считается, что фотосинтетики появились ранее хемосинтетиков. Суммарное значение хемосинтеза ничтожно по сравнению с фотосинтезом.

За длительный период существования Биотического океана в нем происходили различные события. Особенно важным было развитие основных типов растительного (водорослей) и животного мира, потомки которых живут и ныне. Эта перестройка началась около миллиарда лет назад в протерозойской эре (в докембрии). Выделявшийся водорослями сотни миллионов лет газообразный кислород из вод океана переходил и в атмосферу, преобразуя ее —

насыщая кислородом, а также азотом, делая ее более плотной. Обилие кислорода в атмосфере Земли привело к образованию в ее верхних слоях озонового экрана, препятствующего проникновению на поверхность Земли губительных для жизни жестких ультрафиолетовых и космических излучений. Стало возможным заселение и развитие жизни на континентах. Живые существа активно влияют на геохимические процессы на суше. Иными стали и поступления веществ с континентов в море. Установились биологические взаимоотношения между океаном и сушей. Многочисленные обитатели прибрежных районов (как со стороны моря, так и со стороны суши) часть жизни проводят на Земле, а часть — в воде. При этом миллионы тонн органических веществ транспортируются в обе среды обитания (особенно из моря).

Со времени палеозойской эры в океанах обитали основные типы ныне живущих водорослей и животных. Палеозойская эра длилась более 360 млн. лет. Жизнь в море была уже настолько разнообразной, что эту эру можно разделить на ряд периодов. Этому содействует и то, что сохранилось много окаменелых остатков и отпечатков различных обитавших тогда организмов. В первый период палеозойской эры — кембрийский, продолжавшийся 70 млн. лет, моря населяли различные водоросли, одноклеточные животные фораминиферы в известковых домиках-раковинках; губки и похожие на них с известковым скелетом археоциаты (вымерли в нижнем кембрии); моллюски брюхоногие и головоногие — наутилоидеи с прямой раковиной; беззамковые брахиоподы (с роговой или полу-

---

* Первичной продукцией называется автотрофная растительная продукция, так как все гетеротрофы — животные, бактерии, грибы — могут питаться только готовыми органическими веществами, составляя вторичную продукцию.

роговой раковиной); примитивного строения трилобиты (похожие на раков); из ракообразных — остракоды; немного древних иглокожих и представителей других беспозвоночных. Известно более 1500 видов из отложений кембрийских морей. Главными представителями среди них были трилобиты — 60% и брахиоподы — 30%.

Понятно, что жизнь в кембрийских морях была еще разнообразнее. Мы же можем судить о ней только по найденным раковинам и панцирям. Дальнейшие поиски увеличат наши знания о фауне кембрийских морей. Это относится и ко всем последующим геологическим периодам. Естественно, что находки остатков бесскелетных организмов в виде отпечатков их тела крайне редки, но это не значит, что такие организмы были малочисленны. При сравнении с ныне существующей фауной мы знаем, что они были более многочисленны и разнообразны, чем обладающие твердым скелетом.

Ордовикский период продолжался около 60 млн. лет. Значительно разнообразнее становится фауна одноклеточных животных: фораминифер и развившихся радиолярий, обладателей скелета из кремнезема; развиваются многие кишечнополостные: строматопороидеи, четырехлучевые кораллы (ругоза) и табуляты; появляются мшанки, ракоскорпионы, двустворчатые моллюски, замковые брахиоподы; много новых трилобитов, брюхоногих моллюсков; новые наутилоидеи с закрученной раковиной. Известковые скелеты и раковины начинают доминировать. Высшим этапом развития животного царства является тип хордовых. Он подразделяется на четыре подтипа: полухордовые, личиночнохордовые, бесчерепные и позвоночные. В ордовикских морях жили граптолиты, относящиеся к полухордовым. Помимо развития новых групп исчезают более древние. Очень важно, что в это время из водорослей, первоначально обитавших во влажных, прибрежных местах, развились первые наземные растения. Появляются и сухопутные животные. Ведь озоновый экран сделал возможным развитие жизни в воздушной среде.

Следующий период силурийский. Его длительность 70 млн. лет. Все типы живых существ продолжают совершенствоваться. Резко увеличивается разнообразие фауны. Общее число известных видов превышает 15 тыс. Ряд древнейших видов вымирает, зато развиваются новые. Среди последних — особенно трилобиты (80 родов и 1200 видов!). У новых трилобитов хорошо развитые глаза, они могли свертываться, спасаясь от хищников. К концу силура фауна трилобитов резко уменьшается. Обильно раз-

виваются замковые брахиоподы с полностью известковой раковиной. Известно 3 тыс. видов брахиопод. Большого обилия и разнообразия достигают кораллы, особенно табуляты и ругозы. Много различных моллюсков. Среди наутилоидей появляются гиганты: так, оргоцерус имел раковину 2 м в диаметре. Также и среди ракоскорпионов — гигант еуриптерус достигал в длину 1 м. Развивается три новых класса иглокожих. Граптолиты к концу силура вымирают. Зато с этим периодом связано развитие самых примитивных позвоночных — класса бесчелюстных-круглоротых. По внешним признакам, вернее, по образу жизни они были похожи на рыб. Эти «рыбы» не имели челюстей, у них был хрящевой скелет, а по бокам головного отдела — жаберные щели. Некоторые бесчелюстные были покрыты крупными щитками (панцирные рыбы). Впоследствии бесчелюстные вымерли, до наших дней дожили только миноги и миксины.

Затем последовал девонский период, который продолжался 50 млн. лет. Его можно назвать царством рыб. Помимо панцирных бесчелюстных, вымерших в конце этого периода, появились и настоящие рыбы — челюстноротые позвоночные, относящиеся к древним акулам, и даже к костным кистеперым и двоякодышащим. Недавно у Коморских островов были найдены живые рыбы, названные латимерией, принадлежащие к подклассу кистеперых рыб, считавшихся вымершими более 100 млн. лет назад. В девонских морях обитало много различных кораллов, моллюсков — наутилоидей, появились новые головоногие — аммониты. На дне образовывались мощные известковые отложения, в которых кроме кораллов находят много губок, мшанок, брахиопод, различных древних иглокожих и других животных и водорослей. На суше развивались плауновые и различные папоротниковые.

Наступивший каменноугольный период, продолжавшийся 85 млн. лет, принес пышное развитие древесной растительности на континентах. Появились амфибии, насекомые. В морях обильна была фауна девонского периода, господствовали хрящевые рыбы, шло развитие костистых рыб. Различные древние иглокожие, трилобиты и некоторые другие животные начали вымирать.

Наступил последний период палеозойской эры — пермский. Он продолжался 25 млн. лет. Происходит значительная перестройка состава морской фауны. Продолжают развиваться аммоноидеи из головоногих моллюсков, изобилуют различные фораминиферы. Среди последних появляются крупные формы — фузулины и швагерины. Мно-

го мшанок, брюхоногих и двустворчатых моллюсков. Среди рыб обильны акуловые и костистые. Вымирают трилобиты и наиболее древние: иглокожие, кораллы, брахиоподы, мшанки, многие наутилоидеи.

На суше развилось много хвойных деревьев. Начинается развитие рептилий. Древние амфибии — стегоцефалы — вымирают.

Наступившая мезозойская эра продолжалась 135 млн. лет. Она подразделяется на три периода.

Первым был триасовый период длительностью 35 млн. лет. Разнообразие морской и наземной фауны и флоры увеличивается. В триасовых морях были особенно обильны различные моллюски: брюхоногие, двустворчатые и головоногие — аммониты и появились белемниты. Заднюю часть раковины белемнитов, называемую «чертов палец», часто находят в разных местах, в том числе и на песчаных берегах р. Москвы. Это «живые» свидетели и того, что Среднерусская равнина неоднократно за геологическую историю покрывалась морем. Обильно развивались и другие беспозвоночные, а более древние вымирали. Вместо строматопод, четырехлучевых ругоз и тубулятов, вымирающих в перми, начали развиваться шестилучевые кораллы. На суше господствовали рептилии. Обильна была растительность из плауновых, папоротниковых и хвойных. Среди рептилий появились и обитавшие в море ихтиозавры.

Юрский период продолжался 35 млн. лет. Важным событием этого времени было появление одноклеточных водорослей диатомей. Обильно развиваются новые группы морских беспозвоночных, особенно различные новые виды аммонитов и белемниты. Из двустворчатых обильно развиваются устрицы и близкие им виды. Они занимают место брахиопод в образовании рифов, которые строят шестилучевые кораллы. В строительстве рифов принимают участие различные губки, иглокожие и др. Идет расцвет морских рептилий: ихтиозавров и плезиозавров. Они, подобно китам, были водными обитателями и дышали атмосферным воздухом, как и все рептилии. Ихтиозавры имели рыбообразную форму тела и плавали с помощью хвоста. А у плезиозавров передние и задние конечности были веслоподобны, и они гребли ими так, как нынешние черепахи. В морях обитали древние крокодилы (архозавры) и черепахи. По берегам селились летающие ящеры с крылом из кожной складки. Они охотились за рыбой.

Наступил меловой период. Он продолжался 65 млн. лет. В морях особенно развились одноклеточные форамини-

феры и коколитофоры. Их известковые раковинки дали мощные отложения писчего мела, например, на Украине и под Белгородом. Вымирают аммониты и белемниты. Еще сильнее развиваются устрицы и близкие им виды и различные брюхоногие, изобилуют губки. Рифообразующие кораллы создают мощные известковые толщи. Обилие мшанок — свыше 1000 видов. Костистые рыбы становятся господствующей фауной. Среди рептилий на берегах и в прибрежных водах охотятся за рыбой летающие ящеры (птеродон имел размах крыльев 8 м). Среди водных появились мезозавры — громадные ящеры с змееподобным телом. В просторах океана начали вымирать ихтиозавры и плезиозавры. К концу мелового периода вымерли и другие древние ящеры, в том числе и морские. Только крокодилы, черепахи и змеи дали жизнестойкие формы. Среди них ныне живущие: крокодил (Африка), гавиал (Индия), аллигатор и кайман (Америка) и различные морские черепахи.

Важнейшим событием было развитие млекопитающих, птиц и покрытосемянных растений. Они появились еще в юрском периоде, но упрочились в меловом. Достигли большого разнообразия и насекомые.

Мы подходим к кайнозойской эре, она продолжается 54 млн. лет. Ее подразделяют на третичный и четвертичный периоды.

В третичный период вымирают почти все древние виды, особенно рептилии, и формируется современная фауна и флора. На суше господство переходит к млекопитающим и птицам. В морях место водных ящеров занимают млекопитающие: китообразные и ластоногие. Развиваются виды птиц, связанные с жизнью в море. Некоторые, как пингвины, даже потеряли способность летать, а их крылья помогают им грести под водой. Обилие диатомовых водорослей, различных морских беспозвоночных характерно для этого периода. Среди них одноклеточные — нуммулиты и орбитоиды — образуют мощные известковые породы. Разнообразна фауна морских ежей, двустворчатых и брюхоногих моллюсков, губок, кораллов и других животных. Наблюдается обилие диатомовых в холодных и умеренных водах и нуммулит — в теплых.

К концу третичного периода вымирают нуммулиты и многие другие обитатели древних морей. Фауна и флора приобретают современный облик.

Четвертичный период длится всего 1 млн. лет. Его называют также антропогеновый, так как появление человека является своеобразной вершиной эволюции живого

мира. Кроме того, воздействие людей на окружающую природу, в том числе на моря и океаны, становится в соизмеримый ряд с некоторыми крупными природными процессами. Одних только рыб человек добывает уже более 55 млн. т в год. Для четвертичного периода характерна последовательная серия оледенений, особенно на севере Европы и Канады. Послеледниковое время насчитывает всего 10 тыс. лет.

В процессе эволюции живого мира шло развитие одних видов и вымирание других. Теперь в современном нам океане обитает более 150 тыс. видов животных и около 15 тыс. водорослей*. Среди животных главное значение имеют (в тыс. видов):

Простейшие	— около	100
Губки	— »	5
Кишечнополостные	— »	9
Черви свободноживущие	— »	6
Мшанки	— »	2,7
Моллюски	— более	65
Ракообразные	— »	25
Иглокожие	— »	6
Низшие хордовые	— »	1,6
Рыбы	— »	16

Здесь не указаны типы животных, у которых число видов менее 500. К ним относятся и млекопитающие: 58 видов — у китообразных и 32 вида — у ластоногих.

Среди растений главнейшими в морях являются следующие водоросли: зеленые — более 5 тыс. видов; диатомовые — около 5 тыс.; бурые — 1 тыс.; красные — 2,5 тыс.; сине-зеленые — 1 тыс. видов.

В морской воде много различных бактерий, разлагающих отмершие тела организмов. Кроме того, бактерии служат пищей для различных фильтрующих воду животных и илоедов.

Миллиарды лет назад в водах океанов возникли живые организмы, и, несмотря на сотни миллионов лет формирования современных типов и классов живого мира, они по сие время преимущественно морские.

С. А. Зернов определил в процентах места происхождения классов и подклассов современной фауны и флоры:

---

* Надо иметь в виду, что количество видов все время меняется, так как ежедневно ученые разных стран открывают и описывают новые виды у всех типов животных и растений.

Организмы	Область обитания			
	Море	Пресная вода	Суша	%
Животные	76	6	18	100
Растения	50	8	42	100

Большая часть морских по происхождению обитателей и теперь живет в море. Но есть и вторичноводные — по своему происхождению ранее наземные, перешедшие к

жизни в море. Их потомки потеряли частично (черепахи, тюлени) связь с сушей, а некоторые стали полностью водными обитателями — киты. Дышат же они не с помощью жабр растворенным в воде кислородом, а, как их предки, кислородом воздуха — легкими. Поэтому им приходится через определенное время подплывать к поверхности воды для дыхания. Вторичноводными морскими растениями являются зостера, филиоспадикс, да и многие виды мангровых деревьев подымают свои стволы над прибрежными водами моря.

Часто говорят, что тело, погруженное в воду, становится легче. Это неверно: вес тела остается прежним, но, по закону Архимеда, поддерживающая сила, действующая на тело, погруженное в жидкость, равна весу жидкости в объеме, занимаемом телом, и направлена вертикально вверх. Это помогает держаться в воде даже таким гигантам моря, как киты. Нет нужды в особой крепости скелета, кожного покрова и мускулатуры. Если кита перенести на сушу, он будет раздавлен собственной тяжестью. В воде он как бы становится легче на столько, сколько весит вытесненный им объем жидкости. Поэтому, хотя при движении сопротивление воды значительно превосходит воздушную среду, в океанах могут плавать животные огромной величины.

Величественна картина развития жизни на нашей планете! Бесконечной чередой появляются и вымирают различные существа. Новые открытия расширяют наши знания о происхождении жизни и эволюции. Большое воздействие на эволюцию организмов имеют геологические процессы и связанные с ними резкие климатические изменения. Последние особенно влияли на условия жизни на континентах, в прибрежной зоне моря и в поверхностных слоях вод океана. Но самое главное — это отношения между организмами. Законы биологической эволюции, естест-

венный отбор, конкуренция из-за пищи, места обитания, условий размножения, генетические закономерности были мощнейшими стимулами бесконечного изменения и нового видообразования.

Среди ныне живущей флоры сохранились древние виды папоротниковых деревьев, господствовавших еще в каменноугольный период. Поныне обитают древнейшие фотосинтетики — сине-зеленые водоросли. До наших дней дожили потомки бесчелюстных «рыб» — миноги и миксины. Обитатели палеозойских морей — ракоскорпионы все вымерли, а их близкие родственники — мечехвосты — живут и ныне. Они заселяют тропические мелководья в Атлантическом и Тихом океанах.

Великое разнообразие раковинных головоногих моллюсков господствовало более 200 млн. лет назад. Затем их роль в жизни моря стала убывать, и в конце мезозойской эры они почти совсем исчезли. Только четыре вида наутилусов радует глаз наших современников. В палеозое вымерло большинство брахиопод, раковина которых внешне похожа на двустворчатых моллюсков. Среди выживших есть небольшая лингула, почти не изменившаяся по сравнению с ее предками. Дожили примитивные моллюски — несколько видов рода неопилин, а ведь близкий им род триблидиниум жил в кембрийских морях.

Менее 20 лет назад благодаря исследованиям А. В. Иванова был описан новый тип животных — погонофоры. Это единственный новый тип, описанный в нашем XX веке! За монографию, посвященную погонофорам, профессор Иванов в 1961 г. удостоен Ленинской премии. Сейчас погонофоры известны из палеозоя. Такие примеры немногочисленных выживаний «остатков» древнейших животных и растений, господствовавших миллионы лет назад, можно привести еще.

Ч. Дарвин писал, что взаимоотношения между организмами — важнейшие отношения. Действительно, можно себе представить ту борьбу за существование, которая разыгрывалась в древнейших морях между трилобитами и появившимися позднее ракообразными, головоногими моллюсками и панцирными рыбами. После победы над трилобитами началась борьба между древними головоногими моллюсками (наутилидами и аммонитами) и настоящими рыбами.

Борьба на суше между рептилиями, с одной стороны, и млекопитающими и птицами — с другой, привела к вымиранию древних ящеров. Перенесенная в океан, она привела к исчезновению ихтиозавров и плезиозавров. Их

место заняли киты и ластоногие; место летающих морских ящеров — морские птицы.

Помимо вымирания древних видов и сохранения немногочисленных «раритетов» — реликтов — среди многих групп развились новые жизнестойкие многочисленные виды. Таковы нынешние головоногие моллюски — кальмары и осьминоги; акулы и скаты; крокодилы и черепахи; многочисленные представители брюхоногих и двустворчатых моллюсков. Такие обычные ныне двустворчатые, как нукуля, леда, острея (устрица), лима, авикула и др., существуют сотни миллионов лет. Такова сила консервативности многих видов и групп организмов.

246 Многочисленны также примеры быстрой изменчивости и новообразования видов. Совсем недавно, на «глазах» человека, закончился ледниковый период (около 10 тыс. лет назад) в северном полушарии. А ведь за ледниковый период развилось много новых видов — навага, налим, полярная тресочка — сайка, много видов сигов и вообще лососевых рыб, да и других групп живого мира, населяющего нынешние моря. Эти ледниковые реликты приобрели не только внешние морфологические различия, но и «ледниковую» биологию. Они размножаются осенью, не боятся сильно опресненных вод моря и даже обычно их населяют.

Независимо от того, какие группы животных и растений господствовали в море за долгую историю, они всегда имели большое значение в трансформации и обмене энергии и веществ в океане. Живые существа в биосфере всегда связывали и связывают теперь воедино различные процессы неживой природы. «На земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом»,— писал В. И. Вернадский.

Сменялись различные группы животных и растений, обитавших в океане в различные геологические периоды, но характер их геохимического воздействия на среду обитания сохранился. Так, создателями осадочных карбонатных пород были сине-зеленые водоросли, жившие около 3 млрд. лет назад. Среди них строматолиты были первыми (из пока обнаруженных). Они исчезли в палеозое. Помимо важнейшей роли в преобразовании восстановительной среды в окислительную они образовывали на дне мощные известковые отложения. Развившиеся в докембрии и исчезнувшие в течение кембрия археоциты также строили известковые образования. Так, в Южной Австралии име-

ется археоцитовый массив 65 м высоты и 600 км длины. Наличие отложений с археоцитами на Новосибирских островах и в Антарктиде — свидетельство того, что эти районы были дном моря и воды этих морей были теплыми.

Классическими строителями рифов в виде громадных известковых образований являются кораллы. Но в разные геологические периоды извлекателями карбоната кальция, приносимого реками в океан, были кораллы, относящиеся к различным их группам. Так, начиная с силурийского периода главными строителями рифов были табуляты и древние четырехлучевые кораллы (тетракораллы). В пермский период все эти древние кораллы исчезают, и с триаса главными рифостроителями становятся мадрепоровые из шестилучевых кораллов, представители которых господствуют и ныне. Но не только кораллы участвуют в постройке рифов и образовании массивных скоплений известковых пород. Так, на юге Украины и в Молдавии имеются рифы, образованные в миоцене мшанками. В меловом периоде многие известковые массивы были построены моллюсками и брахиоподами. Громадные количества вносимого карбоната кальция извлекают различные фораминиферы (корненожки), иглокожие и другие животные.

Большое значение в образовании подводных рифов имеют известковые водоросли. Они цементируют отдельные колонии кораллов, раковины моллюсков и другие скелеты в единый массив. С мезозоя и по настоящее время к выделяющим углекислый кальций водорослям относится семейство кораллинацеа, представленное в настоящее время родом литотамниум. Кораллинацеа относится к типу красных водорослей. В палеозое роль цементаторов выполняли известьвыделяющие водоросли из типа зеленых, относящиеся к семейству дадикладацеа. Представители этого семейства были широко распространены и в мезозое. Помимо цементирования водоросли, выделяющие углекислый кальций, самостоятельно образовывали рифы.

Таким образом, несмотря на все разнообразие систематического положения различных групп животных и водорослей, участвовавших в образовании известковых скоплений на морском дне, все они во все периоды геологической истории действовали в одном биогеохимическом плане — извлекали углекислый кальций, приносимый материковым стоком в океан, и осаждали его в виде твердых скелетов и раковин, создавая мощные известковые отложения на дне океана. Все планктонные фораминиферы, моллюски (птероподы) и другие извлекатели активно содействовали этому процессу переработки вносимых в оке-

ан веществ, поддерживая тем самым отличный от речного солевой состав вод океана.

«Океан — наиболее древняя часть биосферы, жизнь ниоткуда не могла прийти в него, она в нем зародилась и развивалась»; «Прародина всего населения биосферы — океан»,— пишет Л. А. Зенкевич.

Как ни велико разнообразие обитателей моря — от микроскопических одноклеточных организмов до гигантов китов более 30 м длиной и более 100 т весом или от микроскопических одноклеточных водорослей до гигантских слоевищ макроцистиса в 60—80 м длиной,— всех их по образу жизни можно распределить по трем основным группам: планктон, нектон, бентос. Кроме того, существуют своеобразные сообщества, связанные с поверхностной пленкой воды: плейстон, нейстон, гипонейстон. Немало организмов в разные периоды своей жизни обитают в различных средах. Так, прирастающие ко дну кораллы или ракообразные — балянусы и многие другие — имеют личинки, живущие в поверхностных слоях воды. Наоборот, сельдь, живущая в толще вод, откладывает икру, прилипающую к крупным водорослям в прибрежной зоне или к пескам на дне моря. Несмотря на это, деление организмов на указанные группировки себя оправдало, хотя в некоторых отношениях они условны. Имеются животные, часть жизни обитающие в море, а часть — в пресных водах.

Условия жизни в океане чрезвычайно разнообразны. Так как водоросли могут жить только на такой глубине, где энергия света достаточна для фотосинтеза, то обычно они населяют поверхностные воды (примерно до 100 м). В районах, где воды океанов прозрачны, водоросли планктона живут и на больших глубинах — до 150 м, но не глубже 200 м. Вблизи берега вода из-за обилия взвешенных частиц мутная, поэтому водоросли могут жить только на глубине 70—80 м, а часто и на меньшей глубине.

Самое мощное сообщество океана — планктон. Планктон — греческое слово и означает «парящий», «носимый». В сообществе планктона объединяют одноклеточные водоросли (фитопланктон), обычно очень мелкие (от нескольких тысячных миллиметра до одной десятой), и различных животных. Среди зоопланктона много мелких одноклеточных, рачков, червей, медуз, гребневиков и других животных. Кроме того, икра и личинки многих рыб, личинки губок, кишечнополостных, донных червей, моллюсков, иглокожих входят в планктонное сообщество на период своего развития.

Многие планктонные организмы не имеют органов для активного плавания. Они действительно парят в толще воды. У планктона выработались различные приспособления для пассивного плавания. Прежде всего, чем меньше размер организма, тем больше его удельная поверхность тела. Благодаря этому увеличивается площадь трения маленького существа о воду, и ему легче преодолеть остаточный вес своего тела по сравнению с весом такого же объема воды.

Увеличение площади тела достигается различными путями: многие одноклеточные водоросли соединяются в нитевидные цепочки, удлиненную форму имеют некоторые рачки, черви и другие организмы; у одних образуются различные выросты, щетинки, также увеличивающие площадь трения их обладателей, другие похожи на парашюты и т. д. Важным следствием приспособления к непотопляемости является уменьшение остаточного (удельного) веса. Это достигается прежде всего обилием воды в тканях многих планктонных организмов (80—90 %, а у некоторых даже до 98 % веса их тела). Различные газовые и жировые включения также уменьшают удельный вес организма и содействуют его непотопляемости. У наземных растений часто запасные вещества откладываются в виде крахмала. Но крахмал тяжелее воды, он тянул бы микроскопические водоросли ко дну. У водорослей планктона запасные вещества образуются в виде жира, что одновременно облегчает их удельный вес.

Очень характерно для скелета планктонных организмов уменьшение в них извести или кремния по сравнению с их сородичами, живущими на дне. Так, у планктонных корненожек (глобигерины) или у моллюсков (птероподы) известковая раковинка тонкая. Уменьшается также процентное содержание тяжелых металлов в теле планктонных организмов.

Поражающее разнообразие тончайшего кремниевого скелета радиолярий восхищает не только биологов, но и архитекторов. Изумительное переплетение скелетных тяжей, игл, полых шаровых камер намного превосходит все облегченные конструкции, создаваемые человеком. Есть чему поучиться архитектору и художнику. Недаром Э. Геккель написал прекрасную книгу «Красота форм в природе», где много места уделено радиоляриям.

Если фитопланктон пассивно парит в толще воды, то большинство животных зоопланктона может активно плавать. Жгуты, реснички, весла, изгибание тела, движения хвостового отдела, реактивное (за счет выталкивания во-

ды) плавание характерны для различных организмов зоопланктона. Но в отличие от рыб, покрывающих большие расстояния, зоопланктонные организмы либо «топчутся» в небольшом объеме воды, либо плавают вертикально вверх и вниз.

Способность зоопланктона к вертикальному плаванию сделала возможным заселение всех глубин океана, создав «лестницу» жизни. По этой лестнице осуществляется передача энергии и веществ от поверхности до дна океана. Течения, идущие в разных слоях в различных направлениях, переносят и пассивных и активных планктонных пловцов на значительные расстояния. Это способствует

расселению планктона на громадные пространства, в том числе и его временных обитателей, особенно планктонных личинок многих донных, неподвижно прикрепленных ко дну, или малоподвижных видов. Личинки кораллов ведут планктонный образ жизни от 4 до 23 суток, личинки иглокожих — 30—60 суток, личинки донных ракообразных — около 30 суток. За это время личинки будут отнесены на десятки и даже сотни километров от места обитания родителей и тем самым избегнут перенаселения. Трансокеаническим дрейфом можно назвать путешествие с Северо-Атлантическим течением личинок европейского угря от места его размножения в Саргассовом море до берегов Европы. Рыбаки давно заметили, что сельди в поверхностном слое больше ночью, а днем она скапливается на больших глубинах. Оказалось, что эти перемещения сельди связаны с суточной вертикальной миграцией планктонных рачков и других животных, служащих им пищей. Ежедневная амплитуда миграций зоопланктона измеряется десятками и сотнями метров. В Мировом океане мигрирует масса зоопланктона в 5 млрд. т.

На материале по Каспийскому морю нами было определено, что биомасса зоопланктона в различных слоях воды (глубина 90 м) в результате суточной вертикальной миграции изменяется таким образом: в слое 0—10 м ночью находилось 97%, а днем — только 3% биомассы планктонного рачка эуритемора (массовый вид каспийского зоопланктона); в слое 10—25 м ночью было 78%, а днем — 22% биомассы зоопланктона этого слоя. Уже на глубине 25—50 м картина менялась: ночью находилось только 38%, а днем — 62% биомассы. В глубинном слое (50—58 м) ночью обитало только 3% биомассы рачков, а днем — 97%.

В глубинах океанов существуют суточные вертикальные миграции хищников, плывущих навстречу опускаю-

щемуся днем из поверхностных слоев воды планктону. Мелкие планктонные рачки при вертикальных миграциях оказываются прекрасными пловцами. Например, калянусы размером около 3 мм совершают в некоторых районах суточные миграции вверх и вниз по 200—250 м. Они проплывают за сутки почти 500 м. Следовательно, их удельная (т. е. по отношению к размеру) скорость плавания больше, чем у рыб и дельфинов. Это и не удивительно. Абсолютная мышечная сила мускула одинакового размера у маленького животного и большого различается незначительно. Эта сила возрастает пропорционально квадрату диаметра мышцы, тогда как вес тела, которое ей нужно двигать, увеличивается пропорционально кубу его длины. Следовательно, на единицу абсолютной мышечной силы у маленького животного придется меньший вес, чем у большого. Мускулатура маленького животного сможет произвести относительно веса его тела большую работу, чем у крупного животного. Известна сила слона, но этот гигант оказывается относительно слабее жука-навозника, который может сдвинуть тяжесть в 90 раз большую, чем вес его тела. То же и у мелких рачков планктона, мигрирующих со скоростью 1—2 м/мин. Рачок калянус размером 3 мм, весом 1 мг проплывает в час около 20 м! Очевидно, что трехметровая акула весом 100 кг не сможет плыть со скоростью в 100 млн. раз большей, ведь она по весу в 100 млн. раз тяжелее маленького рачка!

Обитающие в поверхностных слоях воды многие планктонные животные избегают света (отрицательный фототаксис). Животные плывут утром в глубину, а ночью к поверхности. Для выяснения роли света в явлении суточной вертикальной миграции нами были проведены наблюдения в Баренцевом море. Здесь летом круглосуточный день, а осенью происходит смена дня и ночи. В этой своеобразной природной лаборатории рачки калянусы, которые в более южных широтах регулярно совершают суточные вертикальные миграции, летом их не совершали; осенью, когда происходила смена дня и ночи, эти же рачки днем уплывали в глубину, а к ночи скапливались в поверхностном слое.

В процессе эволюции многие причины влияли на выработку и наследственное закрепление явления суточной вертикальной миграции рачков и многих других видов зоопланктона. Среди них укажем следующие причины:

опускание днем в глубину помогает им спасаться от выедания сельдью, сардиной и многими другими планктоно-

ядными животными, которые легче могут их увидеть днем в хорошо освещенных поверхностных слоях воды;

так как в разных слоях воды течение направлено в разные стороны, то тот зоопланктон, который может плавать только вертикально, распространяется с течением в различных направлениях;

встречи в разных слоях воды увеличивают генетические возможности вида;

энергетически выгодно менять слои воды разной температуры;

иногда рассредоточение организмов в определенный период может быть полезным для вида в целом.

252 Эти обстоятельства в процессе эволюции организмов вызвали развитие суточной вертикальной миграции зоопланктона. В качестве приспособительного явления у мигрирующих организмов выработался отрицательный фототаксис и адаптивное приспособление к свету определенной интенсивности или его отсутствию. С явлением суточной вертикальной миграции связано еще одно важнейшее явление в жизни планктона. Зоопланктон питается преимущественно ночью, когда он всплывает в поверхностные слои, где много фитопланктона, служащего ему пищей. Получается замечательная сбалансированность: ведь если зоопланктон съест даже половину фитопланктона ночью, то днем оставшиеся клетки размножатся и восполнят свою численность.

Вертикальные миграции зоопланктона: суточные, сезонные, одногенетические (во время развития организма) — играют громадную роль в «транспорте» и перераспределении питательных веществ во всем объеме вод океана, от поверхности до максимальных глубин. Этому содействуют течения. Они переносят с водой массы планктона и органических остатков, служащих пищей для местных животных. В поверхностном слое (0—100 м) в процессе фотосинтеза создается фитопланктоном та первопища, которая прямо или косвенно кормит всех животных обитателей всей толщи вод океана.

Днем фитопланктон синтезирует из различных элементов органическое вещество своего тела. Накопив определенный запас, клетка делится. Вечером всплывший зоопланктон начинает усиленно питаться. Теоретически за ночь он может съесть «половину» всего фитопланктона. Оставшаяся часть за следующий день может восполнить количество съеденного фитопланктона. Понятно, что в природе такая точность отсутствует. Большая продукция фитопланктона позволяет относительно небольшой био-

массе водорослей прокормить значительно большую массу фитофагов.

Растительноядными (фитофагами) животными питаются хищники. Среди последних существует большое разнообразие. Так, растительноядными рачками питаются их хищные собратья и мелкие рыбы. Последние служат пищей более крупным рыбам, кальмарам, птицам и зубатым китам. Крупные рыбы — пища акул и дельфинов. Ясно, это только схема пищевой цепи. На самом деле все значительно сложнее. А если рассматривать с позиции потребителя-человека, то он чаще пользуется рыбами третьего, четвертого и дальнейших звеньев пищевой цепи. Естественно, чем дальше от первичной продукции, тем меньше по весу возможностей получения товарного продукта.

В наземных условиях животные обитают в окружении растений, которые являются их первопищей (первичной продукцией). Человек, употребляющий растительную пищу, стоит во втором звене пищевой цепи, а питающийся травоядными животными — в третьем. В океане пищевые взаимоотношения значительно сложнее. Животные, обитающие в слое, где идет фотосинтез, т. е. до 100 м (реже до 200 м), находятся в непосредственном окружении водорослей. Но этот слой составляет только 2,5% всей водной толщи. Животные и бактерии вне зоны фотосинтеза населяют 97,5% всех вод океана. В результате длинных пищевых цепей в океане продукция промысловых рыб составляет почти в 5000 раз меньшую величину, чем первичная продукция.

В поверхностной зоне океана гетеротрофы (животные и бактерии) живут в непосредственном окружении автотрофов (фитопланктона). Далее, на глубине до 500 и даже 1000 м, располагается промежуточная зона, где обитает большое количество зоопланктона (фитофаги), постоянно мигрирующего в поверхностную зону для питания фитопланктоном, а также в массе обитают животные, питающиеся мигрирующими фитофагами и хищниками второго звена, кормящимися хищниками первого. Кроме того, здесь много детритоедов, поедающих различные неразложившиеся остатки, поступающие из поверхностной зоны, и обитателей больших глубин, подымающихся для питания.

Глубинная зона простирается от 500—1000 м до максимальной глубины океана. Здесь живут только хищники, детритоеды, фильтраторы и всеядные (эврифаги).

Биомасса планктона от поверхности до абиссальных глубин океана уменьшается в тысячи раз.



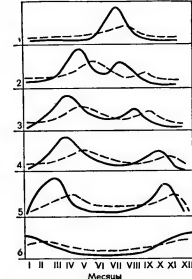


Рис. 48. Сезонные изменения количества планктона на различных широтах (прямая линия — фитопланктон; пунктирная — зоопланктон): 1 — полярные (высокоарктические) моря; 2 — южная часть полярных морей; 3 — северная часть бореальных морей; 4 — южная часть бореальных морей; 5 — субтропические моря; 6 — тропические моря

Вся жизнь всех глубин океана обращена к поверхностной зоне, хотя объем вод зоны фотосинтеза составляет только 2,5%. Здесь обитает 31% всей биомассы планктона. Объем вод промежуточной зоны составляет 22,5%, а биомасса всего зоопланктона — 32%; глубинная зона — 75% объема вод Мирового океана, а биомасса планктона в этом громадном объеме составляет 37% от общей биомассы всего зоопланктона.

Большие изменения в количестве планктона происходят в течение года (по сезонам) на различных широтах. Если в тропической области вегетация возможна круглогодично, то в высоких широтах она ограничена изменяющимся в течение года обилием света, стабильностью воды, отношениями продуцентов и консументов. Можно разделить весь год на сопоставимые биологические сезоны. В жизни моря биологические сезоны различаются по составу и количеству планктона и особенно по соотношению количества фито- и зоопланктона.

Развитие биологических сезонов и переход из одного сезонного состояния в другое обусловливаются, с одной стороны, внутренними биологическими причинами (изменениями состава и количества планктона, физиологическим состоянием организмов, особенно способностью к размножению и т. д.) и, с другой стороны, изменениями внешних условий (интенсивность освещения, наличие льдов, количество питательных солей, температура воды, сток пресных вод и т. п.).

Рассмотрим сезонную схему изменения количества фито- и зоопланктона (рис. 48). Поскольку это схема, то вертикальный масштаб кривых для различных морей

взят условный — только для того, чтобы проследить появление максимумов развития в различное время года на различных широтах.

Для большинства широт характерно наличие двух максимумов количественного развития: сначала фитопланктона, а затем зоопланктона. Появление первого максимума соответствует биологической весне, второго максимума — биологической осени. Время между этими максимумами соответствует биологическому лету, а время от осени и до весны — биологической зиме. Биологические сезоны следуют за гидрологическими, а последние — за климатическими.

Биологические сезоны имеют следующие географические
закономерности:

1. Одноименные биологические сезоны в морях на различных широтах занимают календарно различные месяцы года. Например, биологическое лето в Полярном бассейне начинается в августе, а в умеренных широтах — в мае.

2. Продолжительность биологических сезонов (особенно биологической зимы и лета) на различных широтах меняется очень значительно. Биологическое лето в тропической области длится круглый год, а в Полярном бассейне — 1—2 месяца. Биологическая зима в тропической области отсутствует, а в арктической длится 10—11 месяцев.

3. Все моря на различных широтах можно разделить на два типа: моря с двумя максимумами количества планктона (весенним и осенним), что характерно для умеренных и субтропических широт, и моря с одним максимумом количества планктона — высокоарктические и тропические. Но между последними имеется принципиальное различие. Если в высокоарктических широтах срок вегетации фитопланктона короткий (1—2 месяца), то в тропической области возможна круглогодичная вегетация. Только здесь ее лимитирует количество питательных солей. Увеличение количества планктона в период с ноября по январь в тропической области связано преимущественно с усилением ветрового режима. Последнее приводит к временному улучшению перемешивания поверхностного слоя воды. Хотя уменьшение температуры в это время незначительно (на 1—3°C), но и оно тоже содействует перемешиванию воды.

4. В арктических морях наличие льдов ограничивает проникновение света в воду, даже в условиях летнего периода круглосуточного освещения. Только когда тает снеговой покров и льды становятся прозрачными, начинается вегетация фитопланктона. Первоначально она идет

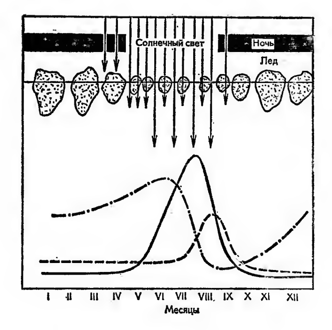


Рис. 49. Изменения количества планктона в полярных морях (прямая линия — количество фитопланктона; пунктирная — зоопланктона; пунктирная с точками — количество питательных солей)

в непосредственной близости от поверхности воды и на нижней поверхности льдов в виде прикрепленных эпифитов. В это время года происходят большие перемещения льдов и в образовавшиеся пространства чистой воды (полыньи) проникает много света. Наступает бурное развитие фитопланктона («цветение» моря). Этому способствует большое количество питательных солей, скопившихся за биологическую зиму в верхних слоях воды (рис. 49). Обилие фитопланктона содействует быстрому развитию зоопланктона. Очень близкими к планктону являются сообщества, связанные с поверхностной пленкой океана: плейстон, нейстон и гипонейстон.

Поверхность воды благодаря действию молекулярных сил представляет собой натянутую пленку, молекулярные

силы которой стремятся сократить ее поверхность. Пленка имеет определенную плотность. Для некоторых существ она настолько велика, что они пользуются ею как твердым субстратом: лежат, бегают или прилипают к ней.

К плейстону относятся полуводные формы. У этих животных часть тела находится над поверхностью воды. Достигается это обычно наличием газа в плавательных пузырях — пневматофорах. Таковы сифонофоры: физалия и велелля. У физалии все тело колониального организма крепится к плавательному пузырю. У велелли имеется треугольный «парус», находящийся над водой. Ветер гонит выступающую часть сифонофора, двигая весь организм.

Исследования А. М. Савилова показали, что паруса плейстонных сифонофор северного и южного полушарий поставлены под разным углом. Благодаря этому в океане они движутся по ветру, совершая в тропических зонах гигантские круговые путешествия, соответствующие ветрам, господствующим к северу и югу от экватора. Плавающие на поверхности плейстонные сифонофоры служат пристанищем для специфического биоценоза — различных потомков обитателей твердого субстрата. Таковы усоногие раки — лепас, из брюхоногих моллюсков — янтина, глаукас; они иногда используют сифонофору в качестве «плота», а последние — и как пищу, поедая различные части ее тела.

Нейстон — это совокупность организмов, обитающих на самой поверхности воды. Некоторые, как, например, представители единственного семейства морских насекомых — клопы галобатесы, бегают в просторах океана по поверхностной пленке.

Гипонейстон — разнообразное сообщество организмов, живущих непосредственно под поверхностью воды. В этом биоценозе — веточки водорослей, оторвавшиеся от дна, а также саргассовые водоросли в одноименном море Атлантического океана, навсегда расставшиеся со своим донным образом жизни; личинки (часто и икра) кефали, хамсы, саргана и некоторых других рыб; плавающий краб портунус и молодь некоторых других крабов; различные веслоногие и равноногие рачки и многие другие организмы. Ю. А. Зайцев с помощью системы подповерхностных сетей установил большое разнообразие населения гипонейстона. Все население, связанное с поверхностью океана, живет при ярком освещении в условиях, когда длинноволновая часть солнечного излучения (красная часть спектра) не поглощена верхними слоями воды. Глубже

полуметра она либо поглощается, либо сильно ослаблена. Защитой им служат темные пигменты, прикрывающие сверху жизненно важные чувствительные органы: нервные центры, сердце и др. Интересны также приспособления к плаванию. Зоопланктон ведь двигается преимущественно вертикально, а здешние виды плавают горизонтально.

Очень разнообразна группа активно плавающих в толще воды рыб, китообразных и тюленей, кальмаров и осьминогов, морских черепах и морских змей, морских птиц (пингвинов) и других крупных животных. Эта группа названа нектоном, что означает по-гречески «плавающий». Большинство этих животных плавает на большие расстояния. Их миграции к местам размножения или откорма так велики, что сопоставимы с дальностью перелета птиц. В процессе эволюции отличные пловцы независимо от принадлежности к различным классам и даже типам животных приобрели обтекаемую форму тела. Недаром в старину, когда не знали истинного строения морских гигантов, говорили — рыба-кит. Рыбообразная форма тела предусматривает значительно большую ширину в плечах, нежели в хвостовой части. Подобная форма и особенности кожного покрова снимают турбулентные завихрения встречного потока воды и превращают их в ламинарное, не столь тормозящее движение вперед.

Движители могут быть различны. Наиболее распространено плавание с помощью хвоста и хвостового отдела тела. Так плавает большинство рыб, китообразные (в прошлом — ихтиозавры). У рыб хвост поставлен вертикально, у китообразных (киты, дельфины, кашалоты) он расположен горизонтально. Но во всех случаях каждая половинка хвоста совершает «полукруглые» движения, в целом имитирующие поворот корабельного гребного винта. Быстрому плаванию помогает еще и изгибание хвостового отдела тела. Боковые плавники поддерживают тело в вертикальном положении. Морские змеи — вытянутые в длину рыбы — при плавании волнообразно изгибают все тело; так же двигались и вымершие ящеры мезозавры и киты зейглодоны. Плоские скаты и камбаловые рыбы изгибают волнообразно боковые плавники, двигая тело вперед. Кальмары, осьминоги, крупные медузы плывут реактивным способом — вода с силой выталкивается из мантийной полости у первых или из-под колокола у медуз. Морские черепахи, многие ластоногие плавают весельным способом с помощью конечностей, превратившихся в ласты. Пингвины гребут ластовидными крыльями,

большинство других морских птиц — ногами, между пальцами которых натянута перепонка.

Когда рыбы откармливаются, они рассредоточиваются на большой площади. Идя на нерест, рыбы объединяются в громадные стаи. В 1941 г. Каспийская научная рыбохозяйственная экспедиция в районе Апшеронского полуострова наблюдала косяк сельди около 150 км в длину и около 30 км в ширину. В 1934 г. зимовавший на Северной Земле Г. А. Ушаков наблюдал в Карском море стадо дельфинов, которые плыли непрерывной лентой в течение пяти суток мимо полярной станции. В горло Белого моря для рождения детенышей приходят гренландские тюлени со всего бассейна Баренцева моря.

В придонных слоях Баренцева моря откармливаются громадные косяки трески. Ее стаи бывают так велики, что трал подымает на борт 2—3 и даже до 10 т рыбы. В период нереста огромные косяки баренцевоморской трески мигрируют в более теплые прибрежные воды Северной Норвегии и Западного Мурмана. Идя на нерест, треска проходит 500—1000 км. Плодовитость ее огромная — до 9 млн. икринок. Тресковая икра пелагическая и с поверхностными атлантическими водами вместе с выклюнувшимися личинками и подросшими мальками распространяется в богатые кормами просторы Баренцева моря.

Путь трески кажется коротким, если сравнить его с путешествием дальневосточных лососей. Кета, горбуша, чавыча и нерка (красная) выклевываются из икры в верховьях дальневосточных рек. Отсюда мальки попадают в Берингово, Охотское, Японское моря и даже в северозападную часть Тихого океана. Там они откармливаются и растут. Взрослые рыбы, накопив большие жировые запасы, направляются к рекам, из которых они вышли. Путешествуя в реке, они не питаются. Да река и не смогла бы прокормить громадное количество рыб, вошедших из моря в реку. Их путь измеряется тысячами километров, а пищей служит запасенный жир. После икрометания дальневосточные лососи погибают. Но в наследственности их потомков сохраняется неукротимая потребность выйти в море и взрослыми вернуться назад в реки, где они родились.

Нельма (из лососевых рыб) — житель Северного Ледовитого океана. Она входит на икрометание в реки от Печоры до Аляски. В реках Обь и Енисей она проделывает путь свыше 3500 км, пока не достигнет мест, удобных для нереста. В реке нельма питается и после икрометания не погибает, а скатывается в море, где живет недале-

ко от устья реки. Нельм не так много, как дальневосточных лососей, и в реке они находят достаточно пищи.

Совсем другой тип миграции совершают угри. В Советском Союзе взрослые угри водятся в реках и озерах бассейна Балтийского моря. Реже их можно встретить в реках, впадающих в Черное, Баренцево и Белое моря. Длинное змееобразное тело угря позволяет ему переползать ночью по росе из одной реки в другую или в пруды и озера. В реки входят только самки. Самцы растут в прибрежных районах моря. В пресной воде самки живут долго: 10—20 лет, достигая 1,5 м длины и веса до 5—6 кг. Став половозрелыми и накопив запасы жира «на дорогу»,

они спускаются в море и вместе с самцами отправляются в центральную часть Атлантического океана, в район, называемый Саргассовым морем. Для этого они проделывают путь 7—8 тыс. км. Нерестятся угри на глубинах 300, 500 м и после этого погибают. Икра всплывает к поверхности, из нее выклевываются личинки, похожие внешне на листок ивы. Мальки угря настолько отличаются от взрослой рыбы, что долго их считали другим видом и дали название «лептоцефалус». Тоненькую, легкую личинку подхватывает Северо-Атлантическое течение и несет к берегам Европы. На это уходит три года. Вблизи берега личинка округляется с боков, удлиняется, растет и наконец превращается в маленького угорька, который входит в реки. Угри живут и в Северной Америке. Икрометание у них происходит тоже в западной части Атлантического океана, но места нереста находятся ближе, чем у европейского угря. У мальков американского угря выработался ускоренный темп развития — всего один год. Живут угри и в других местах, есть среди них и чисто морские. Они не входят в реки. Эти угри достигают большой величины.

Громадные миграции совершают киты. Для размножения они идут в теплые тропические воды, а откармливаются в северных или антарктических водах.

Изучение миграций нектона имеет большое промышленное значение, ибо в больших стаях выгоднее вести добычу.

Разнообразно население и больших глубин. В Курило-Камчатском глубоководном желобе во время экспедиции на «Витязе» была поймана рыба карепроктус на глубине 7 км. Живут ли рыбы на максимальной глубине 11 км, пока не известно. Обитатели больших глубин часто темного, почти черного цвета, многие имеют светящиеся органы, челюсти большинства рыб вооружены огромными зубами.

Рыбы живут по всему Мировому океану, но в больших концентрациях они обитают примерно на 20—25% его акватории. Это обычно районы, где много планктона или большие скопления бентоса. Из этих высокопродуктивных районов получают более 80% мировой добычи.

Хотя общее число видов морских рыб — 16 тыс., промысловыми являются 1—2 тыс., причем около 100 видов являются важнейшими, определяющими основу мирового промысла. Несмотря на все видовое разнообразие глубоководных обитателей, их масса незначительна, и промыслового значения они не имеют. Сказывается бедность кормовых возможностей на больших глубинах. Если представить себе распределение всех рыб (по весу), то до глубины в 500 м обитает более 50%, до глубины 1000 м — 25%, а в огромном объеме вод глубже 1000 м — меньше четверти всей массы рыб. Киты, ластоногие, черепахи, птицы хотя и могут нырять глубоко, но они связаны с поверхностью, так как для дыхания нуждаются в кислороде атмосферы.

Обитателей дна и вообще твердого субстрата называют бентос (греческое слово, означает «глубинный»). В бентос объединяют все водоросли и животных, населяющих дно, подводную часть кораблей, различные портовые сооружения. Твердый грунт является для большинства постоянным местообитанием, а для некоторых — временным (камбала, скат). Для жизни на дне (на твердом грунте) у бентоса выработался целый ряд приспособлений. Многие прикрепляются ко дну на всю жизнь — таковы водоросли, в том числе крупные, затем губки, кораллы, усоногие рачки балянусы, некоторые моллюски, например устрицы, морские лилии (из иглокожих) и многие другие. Очень разнообразны различные закапывающиеся в ил животные: черви, моллюски, иглокожие, ракообразные. Многие бентосные животные — сверлильщики. Они механически просверливают в камне или дереве домики и ходы, в которых поселяются. Среди сверлильщиков особенно много различных моллюсков, ракообразных. Некоторые моллюски выделяют кислоты, растворяющие известковую породу.

Разнообразна фауна, свободно живущая на дне,— моллюски, некоторые морские ежи и др. С дном связана жизнь не только крупных обитателей, но и многочисленных бактерий, микроскопических одноклеточных диатомовых водорослей, живущих в качестве эпифитов.

Большинство бентосных обитателей обрастают различными водорослями и прикрепляющимися животными. По-

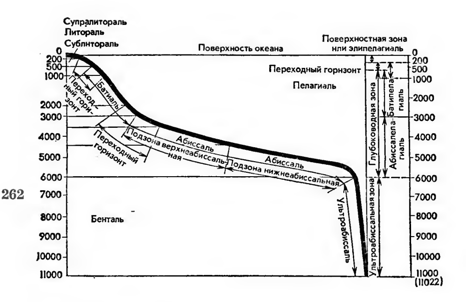


Рис. 50. Вертикальное расчленение океана и его основные биотопы

лучается своеобразная многоэтажность. Если «хозяин» движется, то он переносит своих «квартирантов». Часто это связано с симбиотическими отношениями.

Особенно великолепен бентос коралловых рифов. Ажурные или массивные кораллы, раковины моллюсков, часто громадной величины (тридаклы), сцементированные известковыми водорослями, служат субстратом для других водорослей, сотен видов различных губок, гидроидных полипов, кораллов, червей, мшанок, моллюсков, иглокожих, рыб и множества других часто пестро окрашенных обитателей. Их взаимоотношения настолько переплетаются, что все сообщество представляет собой единый биоценоз.

Жизнь начинается с берега, где заплески волн создают влажную среду — супралитораль (рис. 50). Глубже — литораль — участок дна, покрываемый в прилив водой и обсыхающий в отлив. Далее, до глубины 200 м,— сублитораль. Очень важно, что фитобентос живет только в самой мелководной части материковой отмели — в супралиторали, литорали и до глубины 70—80 м — в суб-

литорали. Создаваемая бентосными водорослями, первичная продукция кормит фитофагов, растительных детритоедов и косвенно различных хищников, в том числе и прибрежных рыб. Бентос материкового склона — батиали — беднее, но значительно богаче жизнью, чем абиссаль — ложе океана. Обитателей глубоководных желобов объединяют в ультраабиссаль.

Л. А. Зенкевич указывает, что на дне Мирового океана на материковой отмели (шельфе) биомасса бентоса в среднем составляет 200 г/кв. м, на глубинах от 200 до 3000 м — 20 г/кв. м, а на глубинах свыше 3000 м — менее 0,2 г/кв. м. Площадь Мирового океана с глубинами 0—200 м занимает всего 7,6 %, но на нее приходится 82,6 % всей биомассы бентоса. Площадь с глубинами 200—3000 м занимает 16,3 %, и на ней находится 16,6 % общей биомассы бентоса. Грандиозная площадь больших глубин (более 3 тыс. м), составляющая 77 %, имеет только 0,8 % всей биомассы Мирового океана. Количество бентоса на абиссали в сотни тысяч раз меньше, чем на литорали и в сублиторали, а в некоторых районах даже в миллион раз меньше.

Часто фантазия населяет глубины океанов различными чудовищами громадной величины. Но ведь чем больше организм, тем больше ему надо пищи, а с глубиной количество планктона, бентоса и нектона резко уменьшается. Понятно, среди глубоководных обитателей есть немало еще не открытых видов. Среди них будет немало остатков (реликтов) древних фаун. Ведь условия жизни на больших глубинах океана сохранились те, какие были десятки и сотни миллионов лет назад. Но одно уже достаточно ясно, что громадный объем глубинных вод и площади абиссали имеет незначительную плотность населения по сравнению с фотосинтезирующим слоем в пелагиали и в прибрежной зоне. Более того, все известные пока абиссальные организмы относительно небольшого размера. Так, когда коллекция глубоководных обитателей, собранная на «Витязе», была выставлена советской делегацией в 1959 г. в Лондоне на Международной научной конференции, посвященной 100-летию со времени опубликования знаменитого произведения Ч. Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора» и 150-летию со дня выхода в свет книги Ж. Б. Ламарка «Философия зоологии», то она вызвала большой интерес среди ученых и разочарование среди журналистов. В баночке были экспонаты, собранные в ультраабиссали Тихого океана. Это были невзрачные на вид организмы небольшого размера, относящиеся к нескольким типам животного

царства. На глубинах свыше 7 км найдены относительно немногочисленные виды фораминифер (корненожки), губок, кишечнополостных, червей, иглокожих, ракообразных, моллюсков, погонофор, асцидий. На глубинах более 10 км — несколько видов фораминифер, актиний, нематод, эхиурид, ракообразных (из гарпактицид, амфипод, изопод), моллюсков и из иглокожих — голотурии. Эти находки доказали, что даже самые большие глубины океана населены. А ведь всего за 10 лет до этого в книге известного шведского исследователя Петерсона было написано, что глубины свыше 7 км безжизненны...

Состав обитателей поверхностных вод океана и дна до
264 глубин 500—1000 м значительно различается в зависимости от климата на разных широтах. Обычно выделяют пять основных биогеографических зон, связанных прежде всего с температурой вод на поверхности нашей планеты. Типичными зонами являются: арктическая, северная умеренная (называемая также бореальной), тропическая, южная умеренная (нотальная) и антарктическая. Каждая из этих зон имеет своих представителей: среди крупных обитателей арктической зоны укажем моржей, белых медведей, полярную тресочку, нельму; для северной умеренной зоны характерны различные тресковые, сельдевые, камбаловые и лососевые рыбы; для тропической — летучие рыбы, тунцы, рифообразующие кораллы и фауна, их населяющая; в южной умеренной — свои виды анчоусов, сардин, киты; для антарктической — пингвины, ушастые тюлени.

Очень характерным является большое разнообразие видов в теплых водах и уменьшение числа видов в водах с более низкой температурой. В силу этого наиболее разнообразны фауна и флора тропических вод. Так, в водах Малайского архипелага обитают около 40 тыс. видов, в Средиземном море — 6—7 тыс., в Северном море— 3—4 тыс., в Баренцевом море — 2500, а в море Лаптевых — только 400 видов. В тропических водах одних только моллюсков много тысяч видов и 700 видов крабов, а в Баренцевом море — лишь 250 видов моллюсков и несколько видов крабов.

На современное географическое распределение морских животных оказал большое влияние ледниковый период. В плиоцене воды Северного Ледовитого океана были относительно теплыми, имели обычную морскую соленость, их населяли бореальные организмы. Наступивший ледниковый период, приведший к похолоданию и опреснению вод, сделал невозможным их существование в арктиче-

ских водах. Теперь часть некогда общей фауны и флоры обитает лишь на севере Атлантического и Тихого океанов. Таковы треска, сельдь, водоросль ламинария и многие другие общие или близкие виды. Академик Л. С. Берг предложил называть этот тип распространения амфибореальным, т. е. общим для бореальных районов двух океанов.

За время разрыва единого ареала обитания биология даже близких видов несколько изменилась. Так, например, атлантическая сельдь мечет икру на песчаном грунте на глубинах 100—200 м, а ее тихоокеанский подвид — на крупных водорослях, живущих на малых глубинах в прибрежных водах.

Похолодание вод в ледниковый период произошло и в тропической зоне. Это позволило проникнуть из северного полушария в южное различным бореальным обитателям: сардинам, анчоусам, некоторым тресковым, а из южного полушария — на север, например, котикам.

Это примеры биполярного распространения. Оно характерно для некоторых общих или близких видов, живущих в бореальных и нотальных водах.

С окончанием ледникового периода теплые воды тропической зоны стали непреодолимым препятствием для общения северных и южных представителей биполярных видов или родов. Среди биполярных организмов имеются губки, гидроиды, гефареи, полихеты, ракообразные, моллюски, асцидии; среди рыб — анчоус (хамса), сардины, шпроты, акулы, различные морские млекопитающие; среди водорослей — 6 видов планктонных диатомей и более 50 видов донных макрофитов. Эта разорванность биполярных видов особенно характерна для поверхностных слоев. Холодолюбивые виды, живущие в глубинных слоях, обитают на громадных меридиональных пространствах, но в тропической зоне они живут на большой глубине, а в полярных водах — даже в поверхностных слоях.

В различных частях Мирового океана и на больших глубинах имеются свои различия в составе животных, но они не так значительны, как в поверхностных водах. Вероятно, сказывается однородность условий обитания на больших глубинах, и прежде всего малые различия в температуре глубинных вод. Только количество поступающей в глубину пищи из поверхностных слоев значительно различается в различных частях океана.

Резких границ в распределении биогеографических зон нет. Между ними простираются часто обширные переход-

ные подзоны. В этих акваториях обитают своеобразные фауны смешанного происхождения.

По географическому происхождению обитателей океана называют арктическими, бореальными, тропическими и т. д. Но часто виды, по происхождению относящиеся к одной зоне, живут и в другой. Например, многие арктические виды обитают и в бореальных водах. Тогда их называют арктобореальными. Если наоборот — то бореарктическими и т. д. Вообще во многих районах океана флора и фауна обычно смешанные. Какое-то количество видов приспособилось к широкому диапазону изменений в условиях обитания. Так, в Баренцевом море среди бентоса

Западного Мурмана обитают: арктические формы — 27 %, арктобореальные — 23, бореальные — 8, бореарктические — 23 %, кроме того, виды очень широкого распространения (космополиты). Основу промысла рыб в Баренцевом море составляют бореальные и бореарктические виды. Арктические виды обитают в этом море лишь в небольшом количестве.

В планктоне разных слоев (в зависимости от течений, идущих в различных слоях в различном направлении) в одном месте могут жить виды неодинакового происхождения. Так, в районе Северного полюса поверхностные воды населены арктическими видами, а на глубинах свыше 200 м, куда проникают атлантические воды из Норвежского и Гренландского морей, живут бореальные рачки. В Гренландском море, в восточной части вдоль Шпицбергена, атлантические воды идут на север. Они населены преимущественно бореальной и бореарктической фауной. В западной части, в водах Восточно-Гренландского течения, обитают преимущественно арктические и арктобореальные организмы. Это течение идет из Полярного бассейна и «разгружает» его от многолетних льдов. На Галапагосских островах, лежащих вблизи экватора, обитают представители южных бореальных видов и даже родственники антарктических пингвинов. Идущее из антарктических широт течение Гумбольдта (часто называемое Перуанским) несет далеко на север, к экватору, относительно холодные воды, в которых могут жить виды нотальной зоны.

Подобные переплетения географического распространения, связанные с особенностями проникновения теплых и холодных течений или вод различного происхождения,— характерная особенность всех частей океанов.

Различные биогеографические зоны имеют характерные особенности. Арктическая и антарктическая имеют низ-

кие температуры воды (в Арктике часто до —2°С, антарктические воды теплее). Для них характерны незначительные годовые изменения в температуре воды (не более 2—3°). Для умеренных зон характерны, наоборот, значительные сезонные изменения в температуре воды: для бореальной зоны — обычно 10°, а для нотальной — 5°. Температура тропических вод меняется в течение года незначительно, обычно не более чем на 2—3°. Понятно, все эти сезонные различия проявляются в температуре поверхностных вод.

Биологическая продуктивность океана

Одновременно с эволюцией живых организмов шло и умножение биологической продуктивности. В процессе биотрансформации и обмена энергии и веществ продуктивность играет решающую роль.

Биологическая продуктивность водоема и продукция организмов не одно и то же. Биологическая продуктивность характеризует производительность органического вещества всем сообществом организмов данного океана, моря или какой-либо части акватории. Поскольку сообщество организмов живет в неотделимой связи со всеми физическими, химическими и геологическими особенностями данного типа водоема, то можно говорить о продуктивности океана, моря, района и т. п. Таким образом, «продуктивность» отражает географический подход.

Другое дело — продукция; она характеризует производительность определенной группы организмов. Широко используется этот термин в определениях: «первичная продукция», «вторичная продукция», «продукция планктона», «продукция бентоса» или нектона и т. д. Таким образом, продукция является преимущественно экологическим понятием, характеризующим определенные биоценозы.

Под биомассой понимают обычно количество организмов (по весу или объему) в одном кубическом метре или на одном квадратном метре площади. Однако за последнее время часто употребляется выражение «биомасса планктона, бентоса или нектона, отнесенная ко всей акватории или району», хотя для этого лучше говорить «общая масса...». В слове «биомасса» привлекает его краткость.

Говоря о биологических ресурсах данного водоема, подразумевают потенциальную продукцию полезных орга-

низмов, которая всегда выше возможного объема вылова биологических продуктов. Рациональный промысел должен вестись без ущерба для продукции полезных организмов.

Главнейшими условиями, определяющими количественно биологическую продуктивность океана, являются:

1. Сами организмы и их взаимоотношения. Особенно отношения между первичными (продуцентами) — автотрофами и вторичными (консументами) — гетеротрофами. Пищевые отношения влияют на количество водорослей и животных в пространственном и сезонном аспектах. Пищевой (трофический) стержень взаимоотношений — основа сбалансированности жизненных циклов в океане.

Большое значение в круговороте жизни имеют редуценты — бактерии, питающиеся остатками организмов и служащие объектом питания для многих животных, особенно среди илоедов. Питание не исчерпывает взаимоотношений между организмами. Также существенны условия размножения, физиологические, биохимические и другие процессы, протекающие как индивидуально, так и в биоценозе.

2. Свет. В океане в процессе фотосинтеза используются десятые, а во многих районах только сотые доли процента падающего на поверхность солнечного света. Изменения количества света, связанные с широтой места, сезонами или с условиями проникновения в глубину, оказывают существенное влияние на процесс фотосинтеза и объем первичной продукции.

3. Питательные соли (биогенные вещества). В целом в океане их громадное количество. Они во много раз превышают потребности фактической первичной продукции. Но в поверхностном слое, где идет процесс фотосинтеза, количество и набор питательных солей по районам или по сезонам могут быть недостаточны для осуществления потенциальной первичной продукции и последующего массового развития животных. Зато глубже слоя фотосинтеза количество питательных солей колоссально. В силу этого на величину биологической продукции влияют условия перемешивания вод. Само по себе движение вод как физический процесс для продуцирования не имеет значения. Но оно исключительно важно и даже определяет фактическую продукцию благодаря тому, что в океанах и морях удобрение поверхностного слоя зависит от перемешивания вод. К важнейшим условиям, способствующим подъему глубинных вод к поверхности, относятся: сгонные ветры, циклонические круговороты, дивергенции, се-

зонные перемешивания вод, а также штормовые условия.

Сгонные ветры несут массы воды от берега. Взамен угнанного поверхностного слоя воды вблизи берегов с глубины подымаются воды, богатые питательными солями. Их можно назвать «молодыми» водами. Они имеют большой запас фосфатов, нитратов, кремния, железа и других веществ, необходимых для первичного продуцирования. Здесь развиваются огромные массы водорослей, затем животного планктона и рыб. С продвижением далее в просторы океана запасы питательных веществ в поверхностной воде все убывают — воды «стареют». Наконец вдали от района подъема вод питательные соли расходуются до минимума, не обеспечивающего обильного развития водорослей.

Муссонная циркуляция создает чередующуюся по сезонам благоприятную обстановку для подъема глубинных вод к поверхности.

Течения содействуют перемешиванию вод. При этом особенно богаты жизнью районы стыка теплых соленых и холодных опресненных вод (полярный фронт). Циклонические круговые течения вызывают подъем глубинных вод и значительное обогащение питательными веществами слоя фотосинтеза. Подъем глубинных вод в результате дивергенции происходит повсеместно.

Существенную роль для развития фитопланктона играют устойчивость вод и положение по вертикали слоя скачка плотности *. Там, где он находится неглубоко по отношению к поверхности, наблюдается более обильное развитие фитопланктона по сравнению с районами глубокого залегания скачка плотности.

Сезонное перемешивание вод особенно характерно для умеренных областей. Здесь зимой поверхностные воды сильно охлаждаются и, становясь более плотными, опускаются ниже. В результате происходит перемешивание. В умеренных областях существуют все вышеперечисленные благоприятные условия для обильного развития жизни.

Помимо благоприятных в океане есть громадные районы с особенно неблагоприятными для продукционного процесса условиями. Это области, где господствует антициклоническая циркуляция. Здесь поверхностные воды

* Скачок плотности зависит от резкого изменения температуры и солености.

опускаются в глубину, а тот слой, в котором возможен фотосинтез водорослей планктона, не пополняется питательными солями. Следовательно, развивается мало фитопланктона, далее зоопланктона, затем рыб. Это оказывает влияние и на возможности количественного развития глубинного зоопланктона, рыб и бентоса на дне. Эти антициклонические области расположены в северном полушарии Атлантического и Тихого океанов, к северу от 15—20° с. ш. до границы с северной умеренной областью, а в южном полушарии (причем еще обширнее по акватории, чем в северном полушарии) в трех океанах — от 20° ю. ш. до границ с южной умеренной областью.

270 Всего 20 лет назад считалось, что речной сток имеет большое значение в удобрении океана, но это оказалось верным только для районов вблизи устьев рек и в небольших морях (например, Азовское, Северный Каспий).

Известно, что температура воды влияет на размножение, скорость роста и другие процессы жизнедеятельности. Однако и в холодных водах полярных морей, и в теплых водах тропической области имеются районы с высокой и малой биологической продуктивностью, в зависимости от организмов, условий проникновения света в воду, обилия питательных солей и перемешивания вод.

По новейшим материалам, полученным в результате экспедиций советских ученых на «Витязе» в Тихом и Индийском океанах, на «Ломоносове» и других судах в Атлантическом, а также по зарубежным материалам, можно было дать представление о распределении биомассы зоопланктона в поверхностном слое и сделать расчеты биомассы и продукции различных групп организмов в Мировом океане.

Оценивая площади разной биомассы, получаем, что в пелагиали высокопродуктивные по фитопланктону районы занимают около 10% акватории Мирового океана, по зоопланктону — 20, по пелагическим рыбам — 25%. На дне фитобентос занимает около 1%, высокопродуктивные районы зообентоса — 8, а придонные рыбы — 10—12% площади дна Мирового океана.

Обобщение данных о количестве жизни в Мировом океане дано в таблице (стр. 271).

Анализ таблицы показывает, что в океане в отличие от суши биомасса животных больше растительной почти в 20 раз! Это возможно потому, что продукция у одноклеточных водорослей планктона превышает их биомассу в 360 раз, так как в среднем для Мирового океана водоросли планктона размножаются ежедневно.

	Биомасса	Продукция за год в млрд. т	Отношение продукции к биомассе
Продуценты:			
фитопланктон	1,5	550	366
фитобентос	0,2	0,2	1
Консументы:			
зоопланктон	21,5	53	2,5
зообентос	10	3	0,3
нектон (рыбы и др.)	1	0,2	0,2
Редуценты:			
бактерии	0,07	70	1000
Сумма	34,77	676,4	
Количество энергии в 10/12 ккал . .	16955	220650	
Количество органических веществ . .	5,635	70,538	
Количество зольных веществ	2,895	51,266	

Определенную роль играют неразложившиеся метаболиты (особенно пигменты, витамины), выделившиеся из организмов.

Необходимо учитывать, что суммирование животной продукции затруднено тем, что пища разных трофических звеньев находится как бы одна в другой. Однако пока еще у нас нет другой возможности оценить животную продукцию, кроме суммарной.

Сравнивая полученные цифры, видим, что продукция зоопланктона меньше продукции фитопланктона в 10 раз. Продукция зообентоса меньше всей первичной продукции в 180 раз. Продукция нектона в 2750 раз меньше первичной продукции.

Годовая продукция нектона — 200 млн. т. Однако не весь нектон может служить объектом практического использования. Глубоководные рыбы и другие непромысловые организмы составляют примерно половину всего урожая нектона. Таким образом, потенциальная годовая продукция промысловых организмов не превышает 100 млн. т. Кроме того, промысловые организмы не всегда концентрируются в количестве, рентабельном для лова. Лов промысловых организмов в период их размножения, а также в молодом возрасте нежелателен, так как он может подорвать запасы или продукты могут быть неполноценными. Очевидно, изъятие должно быть меньше потенциальной продукции.

В настоящее время в морях и океанах добывают 55 млн. т. Если даже учесть неиспользуемые объекты и не-

освоенные районы, то нельзя рассчитывать на большее, чем удвоение добычи. Но это только при рациональном ведении промысла. Чтобы не подорвать запасы, надо систематически создавать благоприятные условия для развития и умножения численности важнейших промысловых рыб и беспозвоночных, включая рациональную акклиматизацию, разведение и выращивание молоди, охрану нерестилищ, международный контроль над выловом и другие мероприятия, а также организацию морских прибрежных ферм. Последнее должно давать существенное количество пищевых и технических продуктов.

Очевидно, что поиски новых районов и объектов промысла надо вести прежде всего в областях с высокой биологической продуктивностью. Как пример новых возможностей укажем обнаруженные скопления рыб на склоне Курило-Камчатской впадины, сделанные в 39-м рейсе «Витязя» в 1966 г. под руководством Л. А. Зенкевича. Таких примеров можно привести много, но они не исключают необходимости ведения рационального промысла во всех аспектах этого понятия.

Не всегда высокая первичная продукция создает хорошие условия для увеличения численности промысловых организмов. Приведем два примера. В 30-х годах в планктоне Каспийского моря, особенно в северной его части, развилась в колоссальных количествах крупная диатомея ризосоления. Это произошло в связи с резким падение уровня Каспия. При этом слой активного фотосинтеза приблизился к насыщенным питательными веществами илам на дне Северного Каспия.

Каспийский зоопланктон не приспособлен к питанию такими крупными и с твердым панцирем диатомеями. В результате мелкий зоопланктон не был обеспечен достаточно пищей, и его количество стало уменьшаться. Это привело к сокращению возможностей питания крупного зоопланктона и личинок различных беспозвоночных бентоса. В итоге кормовые возможности молоди и взрослых рыб сократились, что привело к последующему уменьшению числа промысловых рыб.

В водах вблизи Центральной Америки иногда создаются благоприятные условия для массового развития токсических водорослей (гимнодиниум и др.). Это вызывает гибель или уход рыб из этих районов. Как видим, при развитии несъедобных или вредных существ, хотя они и повышают первичную продукцию, сокращается возможность рыболовства.

Биологические ресурсы океана

Человек всегда пользовался богатствами океана.

Несмотря на быстрый рост населения земного шара, увеличение добычи водных организмов шло быстрее. В 1800 г. вылавливали 1 млн. 200 тыс. т водных организмов, т. е. по 1,5 кг на человека. В 1900 г. 4 млн. т, или по 2,6 кг на человека, а в 1966 г. уловы составили 58 млн. 500 тыс. т —по 18 кг!

Во всех районах Мирового океана добывают рыбу и нерыбные объекты. Во многих странах вдоль берегов ведется настоящее морское фермерство. Разводят водоросли, моллюсков, ракообразных, трепангов и даже рыбу. С Аляски на Новую Зеландию переселили лососей. Из Атлантического океана в Тихий переселили сельдь. Большой размах акклиматизационных работ ведется и в СССР. Из Азовского моря в Каспийское переселили рыбу кефаль и различных кормовых для рыб организмов.

Но вернемся к биологическим ресурсам. Сейчас можно считать, что около 100 млн. т являются биологическими ресурсами Мирового океана. Но необходимо оставить хотя бы 10—20% на восстановление стада. Таким образом, исходя из традиционных объектов мирового рыболовства, на основе расчетов по трофическим отношениям можно предположить увеличение добычи до 80—90 млн. т. П. А. Моисеев и Г. В. Мартинсен (Всесоюзный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства — ВНИРО) определили возможный вылов до 70—80 млн. т. Как видим, результаты очень близкие.

Необходимость увеличения добычи водных объектов диктуется не только экономическими соображениями, но и медицинскими. По данным Института питания Академии медицинских наук СССР, человеку желательно потреблять 18—20 кг рыбы и других морепродуктов в год.

Если учитывать возрастающую численность населения Земли, а также возможности естественного воспроизводства океана, следует считать жизненно необходимым удвоение объема добычи всех морских биологических продуктов.

Каковы же пути решения этого вопроса?

Среди биологических ресурсов (по весу) на первом месте стоят рыбы (85%), моллюски, ракообразные и другие нерыбные объекты (включая водоросли — 9%), киты и ластоногие — 6% (Г. В. Мартинсен). Общий улов всех

морепродуктов превышает 55 млн. т в год и увеличивается ежегодно. Это немало! Общий объем вылова только наполовину меньше мировой продукции мяса.

Уловы в процентах от мирового улова 1966 г., по данным Международной статистики — ФАО, по основным районам промысла следующие:

Северный Ледовитый океан (преимущественно Баренцево море)	2
Северные части Атлантического и Тихого океанов (северная умеренная зона)	40
Тропическая зона трех океанов	32
Южные части трех океанов	26
Атлантический океан:	
Северная часть	73
Тропическая часть	13
Южная часть	13—14
Тихий океан:	
Северная часть	21
Тропическая зона	41
Южная часть	38

В Индийском океане промысел идет только в тропической зоне.

Наиболее продуктивны следующие семейства рыб (по данным 1966 г., тыс. т): анчоусовые — 10 650; сельдевые — 8 000; тресковые — 7 270; скумбриевые — 1 607; ставридовые — 1 213; тунцовые — 1 192; камбаловые — 1 090. Добыча других семейств рыб значительно меньше. На состоявшемся в августе 1966 г. в Гамбурге симпозиуме VII Международного конгресса по вопросам питания было определено, что в большинстве «старых» рыболовных районов ожидать увеличения объема улова нельзя, так как это вредно отразится на численности рыб. Прогноз определяет возможность увеличения уловов в северо-западной части Атлантического океана и в водах от Мексики до юга Аргентины (особенно в районе Патагонского шельфа); в Тихом океане — в северо-восточной части и в южной части (особенно в водах Австралии и Новой Зеландии); в Индийском океане, в Аравийском море. Кроме того, в морях Индонезийского архипелага. П. А. Моисеев и Г. В. Мартинсен ожидают увеличения уловов среди следующих пелагических объектов: среди анчоусовых, сельдевых (включая сардины, кильки и т. п.), ставридовых, скумбриевых, макрелещуковых, тунцов, акул, кальмаров и некоторых других — примерно на 15 млн. т; среди донных рыб: тресковых, макрурид и некоторых других — примерно на 6 млн. т. Многие донные и планк-

тонные беспозвоночные еще не охвачены промыслом. Пока еще идут экспериментальные работы, но они достаточно перспективны. По океанам возможное увеличение вылова рыб определяется так: для Атлантического — 4 млн. т, для Тихого — 7—8 млн., для Индийского — около 1 млн. т.

В настоящее время основной улов идет в районе шельфа — 86 %, в районе склона — 4 и в удаленных от берегов районах пелагиали океана — 10 %.

Оценивая все перспективы повышения уловов в Мировом океане (включая моря), нельзя рассчитывать на удвоение вылова в ближайшие 20—30 лет просто путем увеличения количества или качества рыболовных судов. Ведь можно подорвать основные запасы. В борьбе за существование при резком уменьшении численности вида он может вообще исчезнуть. Следовательно, эксплуатация биологических ресурсов океана должна вестись рационально, чтобы мировые уловы были постоянно высокими. Это условие обязательно для блага человека и сегодня, и на будущее.

Большинство рыб все время мигрирует. Места нереста, развития молоди, роста и нагула растянуты на тысячи километров. Миграции проходят через воды вблизи разных стран. Если в одном районе будут в массе вылавливаться молодые рыбы, то общий ущерб для рыболовства будет громадным. Вес рыбы возрастает в кубе по сравнению с линейным приростом. С другой стороны, и чрезмерный лов взрослых рыб, идущих на нерест, может подорвать численность будущих поколений. Приведем два примера. В Норвегии ведется массовый лов молодых сельдей, который уменьшает возможности промысла более ценной и значительно более «весомой» взрослой сельди в водах Северной Норвегии и Баренцевом море. Всем памятен спор из-за морского лова лососей на Дальнем Востоке. Японские рыбопромышленники выставляли в море многокилометровые сети на путях миграции лососей, идущих к рекам на икрометание. Если бы не договоренность СССР с Японией о контингенте морского промысла, то дальневосточные лососи вообще были бы уничтожены. В море они растут, а нерестятся в реках и после икрометания погибают.

Вопросы регулирования лова сложны. Приходится считаться не только с интересами государства и различных предприятий, но и с индивидуальными особенностями биологии рыб.

Перспективно культурное подводное «фермерство». Вблизи берегов можно выращивать много моллюсков,

ракообразных, рыб, водорослей и других существ. Подводное фермерство имеет многовековую историю, но за последние годы оно обогатилось интересным нововведением. Вместо разведения водорослей и моллюсков (устриц, мидий) на дне моря, где их жадно поедают различные хищники, применяются плавучие системы. Благодаря этому водоросли и моллюски живут в поверхностных слоях воды, т. е. в более благоприятных условиях освещения (что важно для фотосинтеза), и среди большего количества планктона, служащего пищей фильтраторам-моллюскам. Выращенных мальков рыб можно выпускать в заливы и заселять ими просторы морей и океанов. Возможности здесь большие. Площадь мелководий очень велика. Если собрать ее воедино, то получится «материк» площадью с Европу! «Собрать» невозможно, а использовать можно и нужно. При этом освоены самые высокопродуктивные районы океана. В биомассе (по весу) в фауне прибрежных районов значительную часть составляют ненужные для человека организмы: известковые губки, кораллы, медузы, морские звезды и многие другие. Все они поедают тот же корм, которым питаются молодые и взрослые рыбы. Более того, все они охотно поедают много мальков и взрослых рыб. При этом сами не служат пищей тем видам, которые нужны человеку. Создавая подводные фермы, человек изымет ненужные ему организмы и заселит полезными — кормовыми или пищевыми.

Широко используют морские организмы и в качестве удобрений для полей. Получение удобрений из непромысловых беспозвоночных весьма перспективно и практикуется во многих странах.

Широкое поле деятельности открывается для акклиматизации, заменяющей малоценные объекты быстрорастущими и более ценными. Увеличится и пресноводное рыболовство. Уловы в континентальных водоемах составляют 10—12 % по сравнению с морскими и океаническими (немногим больше 6 млн. т в год). Нет сомнения в том, что можно увеличить пресноводное рыболовство в несколько раз.

Таким образом, можно считать возможным в ближайшие 20—30 лет удвоить добычу водных организмов. Понятно — при осуществлении указанных мероприятий!

Для рационального ведения промысла необходима разработка методов научного прогноза. Опыт показал, что промысловые прогнозы, основанные только на учете изменчивости (ежегодной и многолетней) гидрометеорологи-

ческих условий, часто не оправдываются. Это наносит большой ущерб рыбной промышленности.

Нужно сочетать гидрометеорологический и биологический прогнозы. Для этого необходимо моделирование продукционно-промысловых условий каждого моря или района океана, учитывая особенности биологии каждого вида и его значение в экономике. Дело в том, что биологические особенности имеют большую сбалансированность, и даже небольшие изменения в биологических и небиологических условиях сказываются на конечном результате очень ощутимо.

Говоря о будущем человека, мы все чаще обращаемся к океану. Рациональная эксплуатация его биологических ресурсов дает обеспеченный высокий урожай полноценной пищи. Нефть и газ со дна морей существенно улучшат топливные и нефтехимические ресурсы. Комплексное использование химических, минеральных веществ, растворенных в воде и заключенных в осадках на дне, поистине неограниченно. Так же беспредельны возможности энергетического и транспортного освоения океанов. Безграничны возможности использования морей и океанов для получения пресной воды. Она может превратить в цветущий край самые безводные ныне пустыни. Широчайшие возможности откроются при использовании изотопов водорода в термоядерных установках. Смыкание наземной и океанической экономики — одна из великих задач человечества по рациональному использованию ресурсов нашей планеты.

Коралловые рифы Океании

278 Биологическая продуктивность моря — очень сложная и многосторонняя научная проблема. Мировой океан, еще недавно казавшийся неисчерпаемым, стал оскудевать. Интенсивный промысел привел к значительному уменьшению численности многих ценных видов промысловых рыб, китообразных и даже беспозвоночных животных. Уменьшились и запасы промысловых водорослей.

К этому нужно прибавить неучтенных животных, добываемых населением прибрежных районов. Ежедневно во время отлива на литораль выходят миллионы людей с лопатами, решетами, корзинами. Они просеивают и промывают грунт, извлекая из него съедобных червей, моллюсков и рачков. Не удивительно, что местами литораль стала крайне бедной. Очень показательно сравнение биомассы литоральных животных на сходных участках побережья Китая и Индии. Весь улов сборщика раковин на берегу Южно-Китайского моря исчисляется десятками граммов. Но это вовсе не значит, что биопродуктивность литорали тропического моря крайне низка. В соседней Индии, где население по традиции строго придерживается вегетарианского стола, те же виды моллюсков водятся в изобилии. Очевидно, что для рационального использования природных возможностей океана необходимо детальнейшим образом изучить биологию морских организмов и установить разумные пределы (и сроки) промысла каждого вида животных и растений. Однако этого недостаточно, и в будущем очень большое значение отводится искусственному разведению и выращиванию наиболее ценных морских организмов в специально оборудованных подводных хозяйствах. Если такое хозяйство опирается на достаточно разработанные научные рекомендации, его рентабельность гарантирована. Примером может служить всемирно известная японская фирма «Микимото», разводящая жемчужниц. Во многих странах существуют вполне

преуспевающие предприятия по разведению съедобных беспозвоночных животных. В результате нескольких лет работы в Японском море коллектив лаборатории морских исследований Зоологического института АН СССР дал биологические обоснования для организации управляемого подводного хозяйства по выращиванию съедобных моллюсков.

Биологическая продуктивность морских биоценозов зависит от очень многих факторов — грунта, температуры воды, насыщенности ее кислородом, освещенности и т. д., но в первую очередь от питательных веществ в форме фито- или зоопланктона или же от поступления биогенных солей (солей азота и фосфора). Поэтому долгое время была совершенно непонятна, да и сейчас до конца еще не объяснена, необычайно высокая продуктивность биоценоза кораллового рифа. Коралловые рифы образуют на мелководье тропических морей обширные поселения, отличающиеся очень высокой биомассой, приходящейся на единицу площади. Наряду с кораллами и водорослями здесь селятся многочисленные черви, моллюски, ракообразные, иглокожие и другие организмы. Очень обильны в коралловых биоценозах рыбы.

На островах Океании, где наземных диких животных практически нет, а животноводство развито очень слабо, коралловый риф в течение тысячелетий давал человеку необходимые для жизни белки. За счет животных кораллового биоценоза кормятся мириады прибрежных морских птиц и некоторые обитающие вблизи от рифов океанические рыбы. Таким образом, риф постоянно отдает органику и биогенные соли, восполнить потерю которых не так-то просто. Тропические воды, омывающие коралловые острова, чрезвычайно бедны как тем, так и другим, планктон здесь не превышает 20—40 мг/ куб. м, а биогенные соли практически уже полностью использованы планктерами, что и препятствует увеличению их численности. Огромные массы таких обедненных вод в результате течений постоянно проходят над рифом. Казалось бы, они должны отнимать у рифа органику и биогены, но на деле этого не происходит. Оказывается, риф способен извлекать из омывающих его вод ничтожно малые следы питательных веществ и накапливать высокие концентрации биомассы. Долгое время считалось, что высокая биологическая продуктивность рифа зависит от фотосинтеза одноклеточными симбиотическими водорослями — зооксантеллами, находящимися в тканях рифообразующих кораллов. Однако бедность окружающих вод биогенами

резко ограничивает увеличение органики за счет фотосинтеза, хотя вовсе снимать его со счета нельзя. В результате работы на рифе Ю. И. Сорокин убедительно показал, что органические формы биогенов извлекаются из проносящейся воды микрофлорой рифа и что этот процесс особенно успешно идет вследствие высокой температуры среды (обычно около 30°) и адсорбирующей способности пористой структуры скелета отмерших кораллов. Наконец, немаловажную роль в накоплении органических веществ на рифе играют сами кораллы и другие животные кораллового биоценоза, отфильтровывающие из морской воды не только зоопланктон, но и значительную часть бак-
 териального планктона.

Тем не менее загадка высокой продуктивности кораллового рифа, этого оазиса в соленой морской пустыне, еще до конца не разрешена. Наряду с процветающими рифами существуют и угнетенные, и даже отмирающие, хотя окружающие их воды могут быть более богаты органикой. Совершенно не изучены плотности поселения многих, в том числе массовых, организмов кораллового биоценоза, не подсчитаны их запасы, не произведены расчеты темпов их размножения и роста, неизвестна продолжительность жизни и т. д. Коралловый риф, как и всякая биологическая система, не вечен и не стабилен. В процессе развития рифа одни виды кораллов (и других членов биоценоза) сменяются другими, но последовательность такой смены изучена еще очень слабо. Далеки от полноты наши знания о пищевых цепях на рифе, о многих других сторонах сложных взаимоотношений между его многочисленными обитателями. Наконец, даже видовой состав и систематика животных, составляющих основу рифа — мадрепоровых кораллов, изучены еще совершенно недостаточно. Эти, а также другие биологические аспекты привлекают к рифу внимание многих исследователей. Но коралловые рифы представляют значительный интерес и для палеонтологов, и для геологов, и для строителей (риф дает огромное количество извести), и для других специалистов.

Учитывая очень большое теоретическое и практическое значение изучения коралловых рифов, Институт океанологии АН СССР давно уже начал подготовку к проведению «коралловой» экспедиции, которая и была осуществлена летом 1971 г. на «Дмитрии Менделееве» под руководством А. А. Аксенова. С самого начала экспедиция была задумана как комплексное научное мероприятие; в ее состав вошли специалисты различных профилей, деятельность которых была подчинена единой цели — все-

стороннему изучению коралловых рифов и островов. Программа работ биологического отряда, в состав которого входили альголог Ю. Е. Петров, палеонтолог Е. В. Краснов, зоологи А. Н. Голиков, Л. И. Москалев и автор настоящей статьи, была выработана нами при непосредственном участии Л. А. Зенкевича.

На Береге Маклая

Первые кораллы были собраны нами в окрестностях Сингапура, однако там они не образуют рифа, а селятся поодиночке. Настоящие работы начались неделю спустя на Новой Гвинее. Экспедиция на «Менделееве» была юбилейной. Сто лет назад, в сентябре 1871 г., наш великий соотечественник Н. Н. Миклухо-Маклай высадился на побережье Новой Гвинеи и поселился там близ деревень Горенду и Бонгу. Горенду теперь уже не существует, но Бонгу стоит на прежнем месте, и наши этнографы стремились скорее попасть туда, чтобы выяснить, какие же перемены произошли за это столетие на Береге Маклая. Пока они жили у гостеприимных папуасов и работали там буквально днем и ночью, мы имели возможность обследовать коралловые постройки.

В первый день мы прошли на моторном боте вдоль берега, чтобы выбрать место работы. Риф у Берега Маклая типичный береговой, т. е. он начинается почти у самого уреза воды и тянется, постепенно углубляясь, в сторону моря. Кораллы здесь хотя и растут довольно плотно, но не везде образуют сплошные заросли. Цвет их не яркий, много серых и желтых мягких кораллов. Все это говорит о некоторой угнетенности рифа. Вызвана она, по-видимому, климатом Новой Гвинеи. Обилие дождей приводит к распреснению поверхностного слоя воды у берегов на глубину до 5 м. С дождевой водой в море выносятся размытые горные породы, это приводит к некоторому замутнению морской воды. Кораллы же требуют для буйного роста очень чистой, прозрачной воды с нормальной соленостью. Об угнетенности верхней части рифа можно судить и по состоянию колоний: почти каждая из них имеет какой-либо дефект, вызванный попаданием ила. В таких участках колония отмирает и скелет ее темнеет, начиная разрушаться. Обеднено и население рифа: здесь относительно мало моллюсков, почти нет крабов. Тем не менее не следует думать, что риф этот был малоинтересным. Видовое разнообразие мадрепоровых кораллов здесь очень велико. Не прошло и часа, как мы нагрузили полную лод-

ку кораллами. В ведрах с водой были рыбки, морские звезды, голотурии, актинии. В результате двухдневного обследования рифа от берега до глубины 12 м (с помощью аквалангов) был вычерчен его профиль, на котором отмечено местоположение руководящих форм донных животных. Подобные профили составлялись и в дальнейшем, что дало возможность легко проводить сравнение разных рифов.

С какой скоростью растут кораллы?

282 Ответить на этот вопрос было бы легче всего, проследив за развитием колонии. Но мадрепоровые кораллы в аквариуме обычно не приживаются. Если же в отдельных случаях удается наладить их содержание, нет никакой гарантии, что темп роста колоний в аквариуме будет таков же, как и в море. Проследить за ростом кораллов на самом рифе можно, только работая очень длительный срок на одном месте, что в условиях экспедиции неосуществимо. Имеющиеся в литературе немногочисленные сведения о росте кораллов свидетельствуют о том, что различные виды растут с разной скоростью. Так, виды с массивной колонией нарастают всего на 1—2 см в год, у ветвящихся форм за это же время вырастают веточки до 20—30 см. Темп роста большинства видов вообще не прослежен. Поэтому для нас было исключительно интересно провести сборы на рифе вблизи Маданга. 1 ноября 1970 г. здесь произошло землетрясение силой около 7 баллов с эпицентром в море. Город не пострадал, но риф был основательно разрушен как самими толчками и последовавшими за ними волнами цунами, так и оторвавшимися массивными колониями, которых катали по рифу волны. В результате весь риф (здесь он имеет вид подводной коралловой банки) был превращен в обломки, толстым слоем лежащие на дне. Живыми остались только наиболее крупные и массивные колонии. На отмершем полипняке начали поселяться молодые колонии. Так как со дня катастрофы прошло около 8 месяцев, все они должны быть моложе этого возраста. Здесь мы собрали значительную коллекцию, состоящую из молодых колоний разных видов. Измерения показали, что в первые месяцы жизни большинство кораллов образуют колонии не более 2—7 см в высоту. Разрушенный риф оживал, как лес после пожара или порубки. В отличие от вполне сформированных рифов здесь было очень много различных губок и водорослей,

среди кораллов преобладали тонковетвистые и пластинчатые формы, массивных почти не было видно. Своеобразен был и состав обитателей рифа. Особенно обильно здесь были представлены морские лилии — темно-фиолетовые, лимонно-желтые и зеленые. Попадалось также много морских звезд и моллюсков. Среди них несколько так называемых «скорпионов» (Lambis scorpio) и очень красивые Terebra с красными пятнами на высокой раковине.

Разрушенный риф у Маданга — удивительный эксперимент, поставленный природой со свойственным ей размахом. Если взять этот риф под постоянное наблюдение, наведываясь к нему ежегодно в течение ряда лет, можно узнать о многих особенностях возникновения и развития кораллового биоценоза и выяснить темпы роста самих кораллов, что в других условиях вряд ли осуществимо.

«Терновый венец» и протореастер

Со знаменитым «терновым венцом» (Acanthaster planci), крупной хищной морской звездой, впервые мне пришлось встретиться более десяти лет назад при работе на коралловых рифах острова Хайнань. Тогда эта звезда была известна только специалистам и нигде не встречалась в массовом количестве. Более того, она считалась редкой. Нас в то время особенно поразила ее токсичность. Достаточно слегка наколоться на один из многочисленных острых шипов на лучах этой звезды, чтобы вся рука распухла и долго болела. В последние годы акантастер приобрел очень широкую печальную известность, но не вследствие ядовитости, а как «пожиратель» коралловых рифов. Внезапная вспышка массового размножения «тернового венца» привела к появлению этих звезд в очень большом количестве, причем они стали пожирать не только обычную пищу — двустворчатых моллюсков, но напали и на сами кораллы. Такая звезда выворачивает наружу через рот желудок, обволакивает им часть поверхности колонии и медленно ползет по ней, переваривая на ходу полипов. Позади ползущей звезды остается белый след — оголенный скелет мадрепорового коралла. Значительные скопления этих крупных (до 60 см в диаметре) звезд могут за короткий срок буквально уничтожить участок рифа. Это приводит к гибели многих животных кораллового биоценоза и, кроме того, чревато серьезными последствиями для самого острова. Риф, пока он живой, принимает на себя

постоянные удары волн прибоя. Мертвый риф быстро ими разрушается, и тогда волны начинают размывать берег.

Ранее почти никому не известная, морская звезда привлекла к себе внимание не только специалистов, но и государственных деятелей, о ней заговорила пресса всех стран мира. Причину бедствия некоторые зоологи были склонны видеть в нарушении человеком естественных взаимоотношений на рифе. Предполагалось, что вылов для сувениров крупных моллюсков — тритонов и маленьких креветок, которые могут поедать звезд, привел к массовому размножению последних. На ряде островов на вылов тритонов был наложен запрет. По другой версии, причину

массового размножения «тернового венца» нужно искать в изменении температурного режима океана и в его общей загрязненности. Тритоны действительно могут поедать взрослых звезд. Но эти крупные моллюски встречаются далеко не часто и вряд ли могут влиять на численность популяции акантастер. Упоминание в научной литературе рачка Hymenocera picta в качестве возможного врага акантастер приводится довольно часто, однако без достаточно серьезных оснований. По свидетельству проф. Ф. Талбота, этому способствует пресса, распространяющая довольно фантастические сведения о деятельности этих рачков. Будто бы рачки, собравшись группой, до тех пор пляшут на звезде, пока она не втянет свои амбулакральные ножки. Тогда рачки забираются под звезду и выедают мягкие ткани нижней стороны.

Во время захода в порт Вила на острове Эфате (архипелаг Новые Гебриды) мы обнаружили массовое скопление акантастер на рифе вблизи поселка. Весь берег и литоральная зона моря были сильно загрязнены: все пищевые отходы и разнообразный мусор население выбрасывает в море. Непосредственно напротив поселка в воде плавали внутренности свиней, раскисшие шкурки бананов и пр. Поверхность воды была покрыта масляной пленкой от многочисленных подвесных моторов, которыми теперь широко пользуются аборигены острова Эфате. В море у поселка вообще не было видно никаких живых существ, но в стороне, там, где загрязнение ослаблено расстоянием, попадались различные животные. Живых кораллов было немного, от большинства из них остались лишь белые скелеты. Зато «терновые венцы» ползали повсюду в изобилии и заканчивали разрушение, начатое человеком. Очень показательно, что на другой стороне бухты, где нет поселков, всего в каких-нибудь полутора километрах, имеется роскошный коралловый риф и акантастер встре-

чается на нем в единичных экземплярах. Позднее на Фиджи мы снова встретили этих звезд в большом количестве. Но в этом месте риф не был загрязнен и мертвых кораллов, несмотря на обилие акантастер, было сравнительно немного. Конечно, для решения вопроса о причинах массового размножения акантастер двух кратковременных наблюдений недостаточно, но, по-видимому, загрязнение моря играет в этой вспышке далеко не последнюю роль.

На том же острове Эфате на дне мелководной песчаной лагуны Эракор во множестве лежат яркие крупные пятилучевые морские звезды (Protoreaster nodosus) с толстыми шипами на верхней стороне тела. Поражает разнообразие их расцветки, заключающееся в своеобразном сочетании палевого, красного и черного цветов. Подсчеты показали, что на каждый квадратный метр лагуны (ее длина около 2 км при ширине не менее 500 м) приходится по звезде весом 700—800 г. Кораллов здесь мало, другие животные, которые могли бы служить морским звездам пищей, тоже немногочисленны. Правда, имеются заросли зостеры и водорослей, но морские звезды, как известно, не питаются растениями. За счет чего же существует популяция звезд с такой высокой биомассой?

Ответить на этот вопрос оказалось очень легко. Подняв любую звезду, можно увидеть, что из ее рта торчат обломки мертвых кораллов. Обсасывая их, звезды извлекают органический детрит, а возможно, и бактерии, за счет чего и существуют. Мягких тканей у звезд этого вида очень немного — основу массы составляет мощный известковый скелет и близкая по составу к морской воде жидкость, заполняющая амбулакральную систему. Вынутые из воды, звезды быстро высыхают на ярком тропическом солнце и не загнивают — настолько мало в их теле органических соединений. Не удивительно, что у звезд, почти целиком состоящих из извести и морской воды, нет врагов; вот почему они размножились в таком большом количестве.

На самом южном коралловом рифе

Уже давно хорошо известно, что коралловые рифы в своем распространении не выходят за пределы изотермы 20,5°C. Из этого правила известно считанное число исключений. Одно из них — риф острова Лорд-Хау. Этот маленький островок расположен в трехстах милях к востоку от Австралии на широте 31° 31′, т. е. значительно южнее тропика

Козерога. Температура воды здесь в холодные месяцы равна +18—19°С. Мы как раз и посетили в это время остров Лорд-Хау, на рейде которого «Менделеев» стоял 21 и 22 августа. Термометр, опущенный в воду, показывал 18°, а у нас перед глазами был коралловый риф, широко обнажающийся во время отлива. Однако состав рифообразных организмов на острове Лорд-Хау не тот, что в тропиках. На рифе преобладают мягкие кораллы, губки, очень богато представлены водоросли. Есть и мадрепоровые кораллы из родов Acropora, Pocillopora и др., всего около 20 видов, однако они не образуют сплошного покрова. В некоторых местах попадаются довольно крупные моллюски. По общему характеру риф острова Лорд-Хау очень похож на первые стадии развития типичного тропического рифа. Однако он как бы застыл на этой стадии — дальнейшему развитию препятствуют низкие температуры зимы. Среди населения рифа встречаются типичные тропические животные: морские ежи (Echinometra и Tripneustes), морские звезды (Linkia novaecaledonia), маленькие пестрые коралловые рыбки. В составе фауны рифа у острова Лорд-Хау тропических видов даже больше, чем на рифе более северного острова Норфолк. Тем не менее на острове Лорд-Хау ощущается и влияние нотальной фауны. Так, самым массовым животным на рифе следует считать крупного морского ежа (Heliocidaris tuberculata) с красноватыми иглами. На рифах, расположенных в тропиках, эти ежи не встречаются, здесь же они играют очень важную роль в биоценозе. Их огромное количество объясняется обилием подходящего корма — разнообразных водорослей.

На песчаном пляже восточной стороны острова Лорд-Хау в наши руки попала очень интересная и редкая добыча — роющий литоральный краб (Ranina serrata). Последние членики всех ног этого краба уплощены и напоминают по форме мастерок штукатуров. На переднем крае головогруди имеются мощные зубцы и гребни. С помощью этих приспособлений краб быстро зарывается в песчаный грунт и сидит в нем, подстерегая добычу. Наружу выступают только органы чувств — короткие опушенные антенны и пара глаз на длинных стебельках.

Уникальный аквариум

Новая Каледония — заморская территория Франции — со всех сторон окружена коралловыми рифами. Вдоль ее

берегов проходит второй по величине (после Большого Барьерного рифа Австралии) барьерный риф общей протяженностью около 1800 км. Древность и изоляция острова привели к развитию на нем глубоко эндемичной наземной флоры и фауны. Поэтому экскурсии в глубь Новой Каледонии и на богатые коралловые рифы были чрезвычайно интересными и дали очень ценные коллекционные сборы. Однако на меня наибольшее впечатление произвел знаменитый Нумейский аквариум, созданный супругами Катала. Это единственный в мире аквариум, в котором по многу лет живут и очень хорошо растут капризные мадрепоровые кораллы. Здесь же можно увидеть огромное разнообразие других морских беспозвоночных животных и рыб. Примечательно, что в Нумейском аквариуме (в его бассейнах) очень светло, так как сверху падает яркий солнечный свет. Поэтому в отличие от всех виденных мной ранее полутемных аквариумов, освещенных электролампами, здесь можно снимать и фото- и кинокамерой. Только в одном отделении нет солнечного света, зато в ультрафиолетовых лучах мерцают венчики полихет и щупальца кораллов.

Коллекции аквариума очень обширны, все экспозиции составлены с таким знанием биологии и с таким художественным вкусом, что научное значение этого учреждения так же велико, как и эстетическое. Впервые в этом аквариуме мне удалось увидеть живых наутилусов — древнейших головоногих моллюсков, сохранивших большую спиральную закрученную наружную раковину.

Работая на острове Мэтр, мы собрали в море много крупных моллюсков из родов Tridacna, Lambis, Murex. Их разбитые раковины, а также раковины более мелких видов кучами лежали на берегу около потухших костров. Отдыхающие пекут их прямо близ места добычи. Несмотря на интенсивный вылов, риф продолжает снабжать жителей Нумеа — столицы Новой Каледонии — питательными и вкусными дарами моря.

Парадоксальные явления в эволюции кораллов

Во время работ на островах Фиджи и Самоа среди других кораллов нам удалось собрать большую серию Polyphillia. Изучение коллекций показало, что большинство добытых экземпляров развилось в результате регенерации из небольшого обломка.

В норме этот коралл имеет вид тонкостенной чаши, лежащей на грунте выпуклой стороной вверх. Вся наружная поверхность скелета испещрена короткими гребнями, окружающими многочисленные ротовые отверстия. По своему происхождению полифиллия — одиночный коралл. За этапами эволюции этого рода можно проследить, построив такой морфологический ряд: Fungia patella, Fungia echinata, Herpetolitha, Polyphillia. У первого представителя этого ряда ротовое отверстие сравнительно невелико. Крупные одиночные кораллы, несомненно, гораздо лучше облавливают окружающее пространство, если они имеют большую протяженность рта и окружающих его щупалец (как у Fungia echinata). В более совершенном случае (Herpetolitha) рот разветвлен и его отроги расположены не только посредине тела животного, но и на его периферии. Полифиллия отличается крайней степенью усложнения ротового аппарата. У кораллов этого рода от первичного щелевидного рта остается только глубокая бороздка, а пища в организм поступает через многочисленные вторичные рты, расположенные на всей верхней стороне животного. Каждый такой рот окружен группой щупалец. Обладая хорошо выраженными регенеративными способностями, полифиллия может восстанавливать чашевидную форму из самых маленьких обломков. Однако при регенерации первичный рот, который уже утратил свое функциональное значение, не восстанавливается, и коралл приобретает очень правильную полушаровидную форму, полиаксонная симметрия которой не нарушается рудиментарной ротовой щелью. Рассматривая такой коралл, трудно сказать, одиночная это форма или колониальная, так как налицо имеются аналоги отдельных зооидов.

Весьма примечательно, что в другой группе кораллов (сем. Favidae) можно построить морфологический ряд от более низкоорганизованных форм к более специализированным и совершенным, наблюдая при этом обратную тенденцию — подчинение отдельных особей интегрирующему влиянию колонии. Границы между зооидами при этом стираются. Так, если у Favia полипы вполне отделены один от другого, то у близкородственного Favites они тесно сближены. У Coeloria ротовые отверстия полипов становятся щелевидными, а сами полипы располагаются короткими рядами, причем каждая группа окружена единым венчиком щупалец. Наконец, у мозговиков (Meandrina) длинный извилистый рот сложным лабиринтом покрывает всю колонию, а вдоль этого разветвленно-

У входа в Бискайский залив



Утро в Тихом океане



Заход солнца в тропиках
◄

На острове Тутуила (Восточное Самоа)

«Витязь» (в океане)
◄

«Дмитрий Менделеев» в порту Коломбо



Рыболовные суда на рейде Сингапура

►

Спуск 200-литрового батометра для взятия пробы придонной воды

►

Растительность Галапагосских островов. На переднем плане кактус опунция

►

Крабы на Галапагосских островах





Близ острова Мадагаскар



Коралловый риф во время отлива



Перед высадкой на остров Кермадек

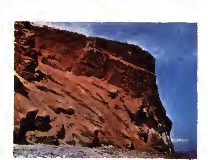


Пляж и коралловые рифы на Гавайских островах





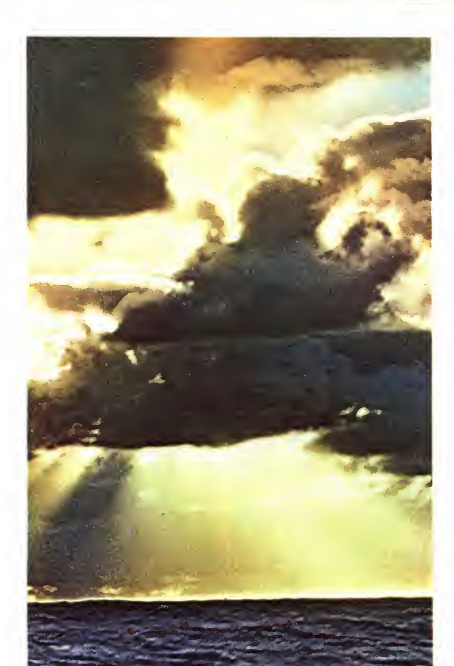
«Дмитрий Менделеев» у Галапагосских островов



Разрушенная часть вулкана на Галапагосских островах

►

В экваториальных широтах Тихого океана

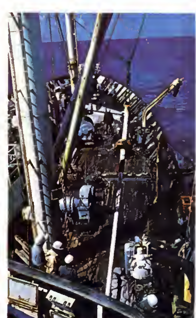


На палубе «Дмитрия Менделеева»

Окраска судна в океане

Геологическая трубка на борту судна





В Тихом океане штиль





Коллекция кораллов

Подготовка геологических трубок к спуску

►

Пляж на островах Фиджи



Заповедник розовых фламинго на Галапагосских островах





Галапагосский морской котик



Волноприбойная ниша в Новой Зеландии

Вид одного из Сейшельских встровов



Мадрепоровые кораллы во время отлива



го рта тянется с обеих сторон по ряду щупалец. Хотя мозговик имеет несомненное колониальное происхождение, он утратил индивидуальность слагающих его зооидов и теперь может рассматриваться как единая особь. Самое удивительное, что эти столь противоположные по направлению эволюционные процессы приводят к биологически сходным результатам. В обоих морфологических рядах наиболее высокоразвитые формы гораздо полнее и лучше облавливают окружающее пространство.

Голубые кораллы

Во время рейса «Менделеев» посетил пять атоллов в архипелагах Эллис и Гилберта, однако биологические работы проводились только на трех из них: Фунафути, Маракеи и Бутаритари.

Фунафути расположен во «влажной» зоне океана, на него часто проливаются тропические дожди, способствующие буйному росту пальм, папоротников и других растений. Население Фунафути с успехом занимается сельским хозяйством. Маракеи и Бутаритари находятся в так называемой «сухой» зоне. Здесь дожди выпадают значительно реже, и пальмовые рощи лишены зеленого подлеска. Мы посетили атолл Гарднер, который из-за продолжительной засухи жители вообще покинули, и вот уже 8 лет он необитаем.

Но это на суше, а рифы вокруг «влажных» и «сухих» атоллов очень сходны между собой. Наряду с богатейшей фауной мадрепоровых кораллов на внешней стороне атоллов в проливах и в лагунах мы встретили в изобилии так называемые солнечные кораллы (Heliopora), скелет которых окрашен в кобальтово-синий цвет. Heliopora — единственный представитель особого отряда восьмилучевых кораллов. В коралловом биоценозе роль их такова же, что и мадрепоровых и гидрокораллов: они составляют основу рифа. Несмотря на значительную разницу в строении и совершенно различное систематическое положение, солнечные, мадрепоровые и гидроидные кораллы имеют одну общую черту — все они обладают мощным известковым скелетом эктодермального происхождения. В этом отношении солнечные, или голубые, кораллы представляют собой исключение из остальных восьмилучевых кораллов, скелет которых, как правило, закладывается в мезоглее и обычно имеет вид тонких известковых игл. Форма колоний солнечных кораллов очень разнообразна и, по-

видимому, зависит от гидрологических условий. В протоках с сильным течением колонии более массивны, в лагунах богато разветвлены. Если мадрепоровые рифообразующие кораллы встречаются только в водах с температурой не ниже 20,5°С, то солнечные кораллы еще более теплолюбивы, вот почему мы встретили их массовые поселения только вблизи экватора.

Каждая колония коралла дает прибежище массе мелких животных: полихетам, моллюскам, ракообразным, иглокожим. Чем сильнее разветвлена колония, тем больше в ней укрывается кораллобионтов. При этом можно наблюдать некоторую видовую специфичность. Уже и прежде отмечалось, что в розовых колониях Pocillopora живут красноватые и розовые крабики и другие рачки, в бурых колониях Pavona и население коричневое или черное. В колониях же солнечных кораллов рачки имели отчетливый синеватый налет на общем темном фоне.

В течение всей экспедиции анализировался качественный и количественный состав животных, обитающих в колониях и в толще их скелета. Пожалуй, самые интересные данные были получены на атолле Маракеи. Лагуна этого атолла очень мелководная, даже в километре от берега глубина ее не превышает 1—1,5 м. Все дно покрыто чистейшим белым коралловым песком, почти лишенным населения. Только вблизи берега имеется пояс маленьких черных голотурий, да шныряют белые хищные крабы. В некоторых местах лагуны имеются скопления довольно редко расположенных, но крупных колоний кораллов, в том числе голубых. В одной из таких колоний размером 62×56×35 см и массой 45 кг оказалось 450 экземпляров кораллобионтов общим весом 494 г. Ни один из обитателей колонии никогда ее не покидает. Появившись здесь из яйца или попав сюда на личиночной стадии, они проводят в колонии всю жизнь. Многие кораллобионты не могут даже перебежать из одной колонии в другую, так как колонии разделены значительными пространствами белого песка, на фоне которого темные рачки будут заметны для хищников (рыб, крабов), да и передвигаться по песку они не могут, так же как и зарываться в него.

Если сами атоллы можно рассматривать как оазисы в малопродуктивных, бедных органикой тропических водах, то такая колония тоже крошечный оазис среди однообразного белого песка лагуны. Даже отдельная колония кораллов в бедной жизнью лагуне существует сама и дает приют и пищу множеству других организмов. Можно по-

нять, какое большое значение в биопродуктивности Мирового океана играют коралловые рифы, общая площадь которых измеряется миллионами квадратных километров.

...Прошло почти 4 года, прежде чем автору этих строк удалось вторично обследовать риф у Маданга. На этот раз у берегов Новой Гвинеи проходил маршрут 57-го рейса научно-исследовательского судна «Витязь». За три года и 9 месяцев произошли существенные изменения в составе рифообразующих организмов и в общем характере биоценоза. Обломки ветвистых кораллов, которые в 1971 г. лежали на дне рыхлым толстым слоем, теперь несколько сцементировались, и благодаря этому грунт стал более плотным. Кораллы успели сильно подрасти, а главное, изменился их видовой состав. Кроме тонковетвистых и пластинчатых форм, отмеченных при нашем первом посещении рифа, теперь здесь было много крупноветвистых видов и даже массивные колонии. Отдельные экземпляры зонтиковидной Acropora prostrata достигали 70 см в диаметре. Удалось обнаружить колонию голубого, или солнечного, коралла почти такого же размера. Интересно отметить, что структура скелета этой колонии отличалась наличием множества пор и полостей. На изломе она напоминала пемзу. На старых колониях так выглядят только молодые концевые веточки. По-видимому, рост голубых кораллов вначале идет очень интенсивно и за относительно короткий срок растущая колония захватывает на рифе большую площадь. Затем рост приостанавливается и начинается уплотнение скелета, причем каналы и полости заполняются известью. На восьмимесячном рифе колонии мадрепоровых кораллов терялись среди зарослей губок и водорослей, теперь они занимали главенствующее положение, значительно потеснив губок и полностью подавив всякую растительность. На рифе в возрасте 4 года и 6 месяцев (именно этот срок прошел со дня землетрясения до второго обследования) место водорослей заняли мягкие кораллы из родов Sarcophyton, Alcyonium и Xenia, которые в первый раз почти не отмечались. Вместе с развитием рифообразующих кораллов на отмели появились и характерные рифовые моллюски и иглокожие, которых в 1971 г. обнаружить не удалось. Теперь здесь в изобилии попадались крупные кобальтово-синие морские звезды Linckea, офиуры, голотурии и два вида морских ежей. М. В. Гептнер и Н. В. Кучерук, оказавшие мне незаменимую помощь в обследовании рифа, собрали некоторое количество моллюсков из рода Cypraea (каури), относящихся к 5 видам, а также конусов, туробо и троху-

сов. Все попытки вторично обнаружить «скорпионов» и теребру успеха не имели. Яркие морские лилии, попрежнему, были и разнообразны и изобильны.

Таким образом, за четыре с половиной года на месте разрушенного рифа успел восстановиться новый, хотя еще и очень молодой. Наиболее интенсивно процесс восстановления происходил на глубине 2—9 м. В результате двух посещений рифа в бухте Маданга удалось проследить за сменой основных прикрепленных форм. Первыми на разрушенном рифе появились водоросли и губки. В 1971 г. мы застали их в период наиболее полного развития, а кораллы только начинали свой рост. После этого настало время мягких кораллов, которые постепенно стали тесниться медленно растущими мадрепоровыми. В 1975 г. мы были свидетелями начала отступления мягких кораллов под натиском разрастающихся форм с известковым скелетом. В дальнейшем мягкие кораллы должны занять на рифе второстепенную роль. Очень интересно узнать, как скоро это произойдет?

Погонофоры и их распространение

За последнее десятилетие большое внимание исследователей привлекают глубинные зоны океанов, и в частности их глубоководная фауна, по многим своим особенностям существенно отличающаяся от фауны верхних горизонтов океана. С изучением состава глубоководной фауны, ее морфологических и физиологических особенностей, вертикального и географического распространения связано решение вопросов происхождения и формирования самой глубоководной фауны, а также более широких проблем, например происхождения глубоководных океанических впадин. **293**

Погонофоры, как целая группа крупного таксономического ранга, представляют собой крайне своеобразный и характерный элемент глубоководной фауны. Как правило, они отсутствуют в мелководной зоне, за исключением, например, северо-западной части Охотского моря, где некоторые виды погонофор поднимаются на небольшие глубины, порядка нескольких десятков метров.

Автор настоящей статьи начал исследования организации этих своеобразных животных с изучения форм, найденных П. В. Ушаковым в Охотском море на глубине 3500 м. Кроме того, автором был изучен обильный материал по *Pogonophora* из северо-западной части Тихого океана, предоставленный Институтом океанологии АН СССР.

В 1949, 1954 и 1955 гг. автор участвовал сам в экспедициях Института океанологии на судне «Витязь», изучил in vivo и зафиксировал ряд новых форм. В 1952 г. им были описаны пять видов, относящихся к четырем новым родам, и обосновано разделение класса на четыре семейства, а в 1955—1958 гг. опубликованы статьи о строении, наружном пищеварении, о систематическом положении и эмбриональном развитии *Pogonophora*. В 1956 г.

Киркегаард описал новый род *Galathealinum* из Целебесского моря, а Иегерстен подробно исследовал *Siboginum ektmani*, открытого им в сборах датской экспедиции в Северном море. Описан ряд видов из тропических частей Тихого океана и из Атлантики. К 1959 г. общее число известных видов достигло 44*.

Образ жизни

Pogonophora в большинстве — типичные обитатели абиссали, встречающиеся, как правило, на глубинах от 2 до
294 10 тыс. м. Однако некоторые виды отличаются очень широким вертикальным распространением, например *Siboglinum caulleryi A. I.*, обитающий на глубине от 23 до 8100 м. Во всех случаях *Pogonophora* встречены только на илистом грунте.

Pogonophora ведут сидячий образ жизни. На твердых, очень длинных трубках *Lamellisabella zachsi Uschakov*, *Polybrachia annulata A. I.* и некоторых других поселяются различные животные: актинии, альционарии, седентарные полихеты, асцидии и даже стебельчатые морские лилии. Характер расположения этих эпибионтов показывает, что значительная часть трубки поднимается более или менее вертикально над поверхностью грунта, тогда как базальная часть, по-видимому, глубоко погружена в ил. Кольчатые эластические трубочки *Siboglinum* и *Oligobrachia* никогда не несут эпибионтов и, видимо, почти целиком лежат в грунте.

Можно с уверенностью утверждать, что *Pogonophora* не способны покидать свою трубку, так как не приспособлены к перемещениям на открытых пространствах. Однако внутри трубки они могут быстро и активно перемещаться, то высовывая передний конец тела со щупальцами из трубки, то уходя глубоко в нее. В этом отношении они очень напоминают седентарных полихет. Длина трубки всегда значительно превышает длину самого животного и не препятствует таким движениям. Для опоры о внутреннюю поверхность трубки служат многочисленные прикрепительные папиллы, снабженные хитиноидными пластинками. Будучи сидячими животными, Pogonophora могут питаться только пассивным способом, подобно неподвижным фильтраторам или собирателям планктона и детрита.

---

* В настоящее время описано около 130 видов.

Внешняя морфология

Все Pogonophora отличаются необычайно сильно вытянутым телом; обычно длина тела в сотни раз превышает ширину, у более крупных видов она достигает 36 см. Диаметр тела колеблется от 0,1 (у *Siboglinum minutum A. I.*) до 2,5 мм (у *Spirobrachia grandis A. I.*). Тело имеет в общем цилиндрическую форму. Оно состоит из сравнительно короткого переднего отдела и весьма длинного туловищного (*mts*). У примитивных форм передний отдел разделен кольцевой бороздкой на две неравные части: меньшую (*ps*), к которой относятся головная лопасть и щупальца, и заднюю, более длинную (*ms*). У этих видов, следовательно, тело состоит из трех отделов, которые, как увидим далее, представляют собой самостоятельные сегменты. Чрезвычайно характерен хорошо развитый аппарат щупалец или рук, прикрепляющихся к переднему концу тела (рис. 51).

Передний отдел тела отделен от туловищного наружной кольцевой перетяжкой и внутренней мускулистой диафрагмой. Спереди — дорзальное основание щупалец; передний отдел вытянут в медиальную головную лопасть, содержащую мозг. На брюшной стороне переднего отдела тела всегда имеется пара косых, сходящихся медиовентрально кутикулярных ребрышек, или килей, названных уздечкой (*frenulum*). Проходя косо вперед и к боковым поверхностям тела, а затем на спинную сторону, кили постепенно утончаются*.

Туловищный отдел (*mts*) значительно меняется от переднего конца к заднему. В нем ясно различимы два главных участка: передний — преаннулярный, простирающийся до особых поясков *annuli*(*an*), и задний, расположенный позади поясков,— постаннулярный (*poa*)**.

Преаннулярный участок в своей начальной части снабжен довольно широким вентральным желобком, который сзади постепенно сглаживается. Желобок ограничен с боков валиками, несущими ряды прикрепительных папилл (*pa*) в виде небольших округлых или грушевидных подушечек, снабженных маленькими хитиноидными пластинками. Однако у некоторых форм, например у *Siboglinum*

---

* В настоящее время на основании детального изучения эмбрионального развития ряда погонофор (*Иванов*, 1975) доказано, что головная лопасть и мозг лежат на брюшной, а щупальца на спинной стороне тела.

** Последний заканчивается небольшим, разделенным на сегменты и снабженным щетинками отделом, играющим роль копательного органа (*Webb*, 1964; *Иванов*, 1964).

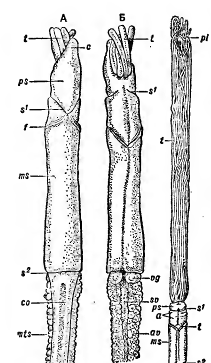


Рис. 51. Передний конец тела самца Oligobrachia dogieli: А — вид со спинной стороны; Б — то же, вид с брюшной стороны.
Рис. справа — Polybrachia annulata

и *Oligobrachia*, последние отсутствуют. Посредством папилл с пластинками животное, вероятно, цепляется за внутреннюю поверхность трубки, передвигаясь в ее полости.

Впереди расположение органов прикрепления отличается не вполне правильной метамерией, которую нельзя рассматривать иначе как вторичную. Однако, чем далее назад, тем более метамерность нарушается, и вскоре прикрепительные папиллы оказываются рассеянными беспорядочно (*pa*). Бо́льшая часть преаннулярного участка туловища характеризуется именно таким неправильным расположением прикрепительных органов. Таким образом, в преаннулярном участке в свою очередь можно различать короткую метамерную и длинную неметамерную области.

Преаннулярный участок туловищного отдела отличается еще наличием широкой дорзальной ресничной (мерцательной) полоски покровов, которая, начинаясь сразу на переднем конце туловища, тянется до конца метамерной области. По-видимому, это орган чувств (может быть, хеморецептор), судя по связи его с дорзальным нервным стволом.

Два пояска хитиноидных пластиночек лежат в средней части туловищного отдела. Они были открыты и описаны еще Коллери у *Siboglinum*. Каждый поясок (*annulus*) состоит из рядов очень мелких овальных хитиноидных пластиночек, покрытых микроскопическими зубчиками. Пояски лежат на кожных мускулистых валиках и служат для прочной фиксации средней части тела в трубке, ког-

да, как можно себе представить, потревоженное животное мгновенным сокращением продольной мускулатуры втягивает передний конец со щупальцами в трубку.

Позади поясков начинается постаннулярный участок тела. У представителей отряда *Thecanephria* он тоже несет прикрепительные папиллы с хитиноидными пластинками или без них. Но здесь эти органы снова располагаются метамерно, образуя поперечные ряды на брюшной стороне тела (*pap*).

Однако у всех *Athecanephria* постаннулярная часть туловища лишена прикрепительных папилл и обладает следующими друг за другом через более или менее равные промежутки дорзальными железистыми щитками.

Ни ротового, ни анального отверстия у погонофор нет.

Все погонофоры раздельнополы, причем самцы по внешнему виду сходны с самками. Единственное внешнее отличие сводится к различному положению парных половых отверстий: у самцов они лежат на брюшной стороне на границе переднего и туловищного отделов, а у самок — в средней части преаннулярного участка туловища.

Щупальцевый аппарат

Большой интерес представляет сравнение щупальцевого аппарата разных родов. Он варьирует до крайности, тогда как общий план строения у всех погонофор однотипен (рис. 52, 53).

Количество щупалец подвержено большим колебаниям: *Siboglinum* имеет лишь одно щупальце, *Oligobrachia* и *Heptabrachia* — 6—13, *Birsteinia vitjasi A. I.* — 12, виды *Polybrachia* — от 18 до 70, *Lamellisabella johanssoni A. I.* — 18, *L. zachsi Uschakov* — 28—31, *Spirobrachia (grandis A. I.)* — до 223.

Наиболее примитивные формы обладают небольшим числом парных щупалец. Таковы, например, виды *Oligobrachia* и *Heptabrachia*. Единственное щупальце *Siboglinum*, несомненно, представляет собой результат вторичной олигомеризации; оно иннервируется одним нервом, отходящим от мозга асимметрично, с правой стороны. Это указывает на то, что у *Siboglinum* от всей кроны сохранилось только одно из правых щупалец. С другой стороны, у ряда родов, именно у *Polybrachia*, *Lamellisabella* и *Spirobrachia*, мы видим картину последовательного умножения щупалец параллельно с усложнением общей орга-

низации. Очевидно, перед нами типичный случай полимеризации органов.

У форм с небольшим или средним количеством щупалец, именно у *Oligobrachia*, *Heptabrachia*, *Birsteinia* и *Lamellisabella*, площадь их прикрепления к телу имеет подковообразную форму, причем концы подковы обращены на брюшную сторону. Вследствие этого вся крона является двусторонне симметричной. Далее, с увеличением числа щупалец происходит изменение основания кроны: вместо расположения в один ряд щупальца располагаются в два или даже в три ряда, например у *Polybrachia annulata*



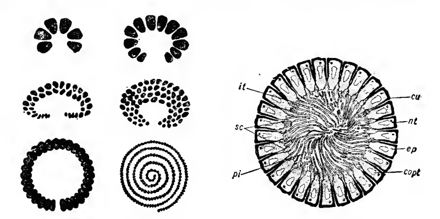


Рис. 52. Схема расположения щупалец у Pogonophora

Рис. 53. Поперечный разрез кроны щупалец Lamellisabella zachsi Uschakov (по Иванову, 1955): coet — целом; cu — кутикула; ep — эпителий; it — межщупальцевое пространство; nt — нерв; pi — пиннулы; sc — ресничные бороздки

A. I. Еще сильнее выражена эта особенность у *P. barbata A. I.*, у которой в подковообразном основании кроны щупальца расположены многорядно (рис. 52).

Совсем иной путь умножения щупалец наблюдается у *Spirobrachia*. Здесь произошло сильное удлинение правого колена подковообразной фигуры и закручивание его в спираль в центростремительном направлении. Вследствие этого при сохранении однорядного расположения щу-

палец общее число их значительно возросло и сформировалась асимметричная спирально закрученная крона. Потребность в еще большем количестве щупалец была удовлетворена посредством винтового их расположения. В связи с этим появилось новообразование — штопорообразный вырост тела — лофофор, лежащий внутри основания кроны и несущий большую часть щупалец.

Два высших семейства — *Lamellisabellidae* и *Spirobrachiidae* — отличаются спаянностью щупалец, причем только дистальные концы последних остаются свободными. У *Lamellisabella*, которая имеет круговое расположение щупалец, так как вентральные концы подковы почти смыкаются друг с другом, при этом образуется длинный полый щупальцевый цилиндр (рис. 53). У *Spirobrachia* формируется щупальцевая пластинка, свернутая спирально наподобие рулона бумаги (рис. 52).

Длина щупальцевой кроны у всех погонофор весьма значительна. Так, например, у *Polybrachia annulata A. I.* крона достигает 16 мм при длине туловища около 130 мм и ширине тела 0,75 мм. Необычайно длинно и единственное щупальце *Siboglinum*.

Гистологическое строение щупалец мы рассмотрим ниже, при обсуждении вопроса о питании погонофор.

Сегментарный состав тела

Одним из основных является вопрос о сегментарном составе тела.

По Иогансону, тело *Pogonophora* состоит из трех сегментов, причем первый и второй сегменты, сливаясь, образуют передний отдел тела. Щупальца принадлежат второму сегменту, так как их целомические каналы, по предположению Иогансона, представляют продолжения второй пары целомов. В целоме первого сегмента лежат нефридии, а в третьих, туловищных целомах — половые железы.

По предположению Давыдова, высказанному в его очень интересном анализе организации *Siboglinum*, передний отдел тела также состоит из слившихся двух первых сегментов, а третий сегмент представлен туловищем.

На основании изучения ряда серийных срезов я могу в общем подтвердить эти данные. Однако между моими результатами и интерпретацией Иогансона имеются значительные расхождения.

Полость, которую Иогансон принял за целом первого

сегмента и в которой у части погонофор лежит пара нефридиев, в действительности является только впячиванием брюшной стенки спинного кровеносного сосуда. Истинный целом первого сегмента всегда непарный и лежит впереди, у самого основания щупальцевой кроны. Он имеет мешковидную или подковообразную форму, от него отходят целомические каналы щупалец (*coet*), которые, следовательно, принадлежат не второму, как предположил Иогансон, а первому сегменту. Кроме того, пара целомодуктов открывается своими внутренними концами именно в этот целом, что, конечно, показывает принадлежность их первому сегменту. Наконец, головная лопасть
300 представляет собой передний дорзальный вырост первого сегмента (рис. 54).

Таким образом, передний отдел тела у *Pogonophora* действительно состоит из двух первых сегментов и гомологичен хоботку и воротничку *Enteropneusta*, взятым вместе. Замечательно, что у всех примитивных погонофор впереди уздечки имеется резко выраженная кольцевая бороздка, несомненно представляющая наружную границу между первым и вторым сегментами. *Pogonophora*, следовательно, животные олигомерные, точнее, тримерные, подобно *Hemichordata**.

Основные черты внутренней организации

Покровы *Pogonophora* состоят из однослойного эпителия, богатого одноклеточными железами, и почти сплошь покрыты кутикулой. За счет последней развиваются различные хитиноидные образования: кили уздечки, пластинки прикрепительных папилл и поясков. Лишь незначительные участки поверхности тела на щупальцах и на спинной стороне метамерной области преаннулярного участка туловища одеты мерцательным эпителием.

Под базальной мембраной кожного эпителия лежит тонкий слой кольцевых мускульных волокон, за которым располагается мощный продольный мускульный слой.

Имеются многочисленные многоклеточные тубипарные железы кожного происхождения, которые снабжены про-

* В 1964 г. Веббом обнаружен неизвестный до того четвертый, задний сегмент тела. Он очень мал и расчленен на серию вторичных колечек, снабженных короткими щетинками. По наблюдениям Саусворд (1971), этот сегмент выполняет роль копательного органа, с его помощью погонофора зарывается в глубь ила, погружаясь в него задним концом вниз. При этом трубка надстраивается на заднем ее конце.

током и погружены в полость тела. Они развиты во втором и третьем сегментах, особенно в прикрепительных папиллах.

Нервная система крайне примитивна и гистологически напоминает таковую *Enteropneusta*. Она целиком залегает в толще кожного эпителия и образует почти сплошной нервный плексус. Различается скопление ганглиозных клеток в дорзальной головной лопасти — мозг — и отходящие от него спинной нервный ствол и боковые дужки, дающие нервы щупалец.

Замкнутая кровеносная система состоит из брюшного сосуда, по которому кровь течет сзади наперед, и спинного сосуда, по которому осуществляется обратный ток крови.
Брюшной сосуд у основания щупалец снабжен мускулистым сердцем, сокращения которого проталкивают кровь в приносящие сосуды щупалец. У части погонофор (*Siboglinum*, *Oligobrachia* и др.) к сердцу с дорзальной стороны прилегает мешковидный перикардий (*per*) (рис. 54).

В спинной сосуд кровь поступает из выносящих сосудов щупалец (*vta*). От его переднего конца отходят три слепые ветви, направляющиеся вперед, в головную лопасть, и снабжающие кровью мозг. У самок позади мускулистой диафрагмы от спинного сосуда ответвляются продольные сосуды парных яичников. В задней половине туловища спинной и брюшной сосуды сообщаются многочисленными разветвляющимися поперечными ветвями.

Органами выделения служат нефридии, или, вернее, целомодукты первого сегмента, состоящие каждый из ресничного канала, сообщающегося с передним целомом, более или менее длинного и извитого экскреторного канала и выводного протока. Ресничные каналы обоих целомодуктов сообщаются друг с другом поперечным протоком.

По степени развития и локализации целомодуктов первого сегмента все погонофоры делятся на две группы. В одной группе (*Siboglinum*, *Oligobrachia*) экскреторные отделы широко расставлены и прилегают к задним участкам боковых головных сосудов (*vl*), в другой группе (*Heptabrachia*, *Polybrachia*, *Lamellisabella* и др.) они очень длинны, извиты и сближены друг с другом медиально, причем прилегают к спинному сосуду, глубоко впячивая его брюшную стенку. Первая группа форм (отряд *Athecanephria*) отличается также наличием перикардия, тогда как вторая (отряд *Thecanephria*) лишена его.

Как уже отмечалось, погонофоры раздельнополы. Характерно наличие лишь одной пары чрезвычайно вытяну-

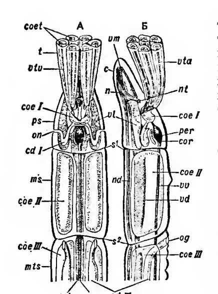


Рис. 54. Схема организации Pogonophora Athecanephria

А — передний конец тела самца с брюшной стороны; Б — то же с правой стороны; с — головная лопасть; cd I и cd III — целомодукты первого и третьего сегментов; coet — целомы щупалец; coe I — III — целомы первого — третьего сегментов; cor — сердце; ms — второй сегмент; mts — третий сегмент; n — мозг; nd — спинной нервный ствол; nt — нерв щупальцевой кроны; og — мужское половое отверстие; on — наружное отверстие целомодукта первого сегмента; per — перикардий; ps — первый сегмент; s^1 и s^2 — межсегментные бороздки; t — щупальца; vd — спинной сосуд; vl — боковой головной сосуд; vm — медиальный головной сосуд; vta — выносящий сосуд щупальца; vtv — приносящий сосуд щупальца; vv — брюшной сосуд (по А. В. Иванову, 1955)

тых гонад, лежащих в целоме туловищного сегмента. Гонады отделены от целома клеточными стенками. У самцов семенники занимают весь постаннулярный участок. Спереди они сообщаются с очень длинными ресничными железистыми семяпроводами, тянущимися до передней границы туловищного сегмента, где они открываются брюшными отверстиями (*og*). В них формируются многочисленные уплощенные или веретеновидные перепончатые сперматофоры с очень длинной тонкой нитью. У самок яичники занимают переднюю половину туловища. Зрелые яйца из целома попадают в короткие яйцеводы. Женские половые отверстия лежат в средней части туловища. Яйца довольно велики, богаты желтком (рис. 54).

Яйца погонофор откладываются в переднюю часть трубки животного, где и протекает все эмбриональное развитие. Образование целомов происходит энтероцельным путем, как это характерно для *Deuterostomia*. Пелагической личинки нет, развитие прямое — без метаморфоза.

Заслуживает внимания вопрос о морфологической природе половых протоков — семяпроводов и яйцеводов. Их отношение к эпителиальной выстилке целома говорит о мезодермальном происхождении. По-видимому, они представляют не что иное, как

чрезвычайно развитые целомодукты туловищного сегмента.

Самой удивительной чертой организации Pogonophora является отсутствие кишечника, рта и ануса, на что обратил уже внимание Коллери.

Наружное пищеварение

Само собой разумеется, что полное отсутствие пищеварительного канала представляет вторичную черту организации погонофор.

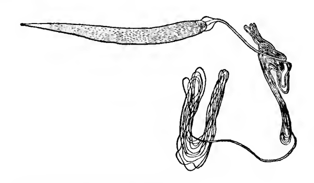


Рис. 55. Вид сперматофора Oligobrachia dogieli (по Иванову, 1970)

Ключ к решению вопроса о том, как питаются эти неподвижно сидящие обитатели морского дна, полностью лишенные обычной пищеварительной системы, дает анализ их щупальцевого аппарата.

Несмотря на все разнообразие в числе и в особенностях прикрепления щупалец, в щупальцевом аппарате всегда проявляются одни и те же весьма характерные черты. Так, у всех форм, кроме *Siboglinum*, щупальца располагаются таким образом, что, прилегая друг к другу, ограничивают межщупальцевое пространство. У *Lamellisabella* и *Spirobrachia*, как сказано выше, они даже спаиваются друг с другом почти на всем своем протяжении, причем у первого рода образуется полый внутри цилиндр, а у второго — щупальцевая пластинка, свернутая спирально.

Таким образом, наличие временной (при свободных щупальцах) или постоянной (при спаянных щупальцах) межщупальцевой полости той или иной конфигурации очень характерно. Она образуется даже у *Siboglinum*, как это видно на живых особях, вследствие штопорообразного закручивания единственного, но зато необычайно длинного щупальца.

Строение щупалец у всех погонофор более или менее сходно. Щупальце является длинным выростом тела и содержит целомический канал, сообщающийся с целомом первого сегмента. На внутренней поверхности щупальца расположены ряды пиннул — длинных и чрезвычайно тонких выросток. Каждая пиннула представляет собой одну очень вытянувшуюся клетку эпителия щупальца, содержит одно ядро и пронизана двумя параллельными, соединяющимися у вершины пиннулы тончайшими кровеносными капиллярами — приносящим и выносящим. Пронизывая толщу эпителия щупальца, эти капилляры сообщаются с соответственными сосудами самого щупальца.

У основания пиннул располагаются продольные ряды мерцательных клеток. При соприкосновении соседних щупалец они образуют временные (большинство форм), а при срастании щупалец — постоянные (*Lamellisabella* и *Spirobrachia*) продольные ресничные бороздки. Между основанием пиннул и мерцательными клетками лежат ряды железистых клеток. Характерно, что у всех форм пиннулы обращены в межщупальцевое пространство, где образуют густое сплетение.

Одной из функций щупальцевого аппарата, несомненно, является дыхательная. Однако характер перечисленных выше деталей строения щупальцевого аппарата привел меня к убеждению, что у погонофор он служит также для собирания пищи, ее переваривания и всасывания продуктов пищеварения.

Вероятно, мерцание ресничных бороздок на щупальцах гонит воду в межщупальцевое пространство. Вода входит между дистальными концами щупалец и выходит между основанием вентральных щупалец, где всегда имеется отверстие, даже у форм со спаянными щупальцами. Взвешенные в воде микроскопические организмы и детрит застревают в густой сети пиннул, которая таким образом играет роль фильтра. В межщупальцевое пространство выделяются пищеварительные ферменты, для чего, возможно, служат упомянутые выше железистые клетки эпителия щупалец. Здесь же происходит переваривание

пищи. Питательные вещества всасываются пиннулами, играющими роль своеобразных «кишечных ворсинок», и поступают в кровь их сосудов, откуда с током крови попадают через выносящие сосуды в спинной сосуд и разносятся по всему телу. Возможно, фильтрация воды щупальцевым аппаратом и переваривание пищи происходят не одновременно, т. е. сперва накапливается некоторый запас пищи, потом животное переваривает ее, втянув крону щупалец в трубку.

Погонофоры, таким образом, представляют собой совершенно исключительный пример свободноживущих (непаразитических) животных, лишенных кишечника и обладающих исключительно наружным пищеварением*.

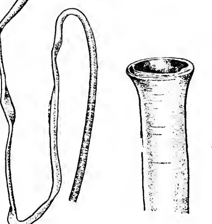


Рис. 56. Передний конец трубки: слева — Siboglinum caulleryi; справа — Lamellisabella johansson (по Иванову, 1957).

Трубка

Трубки *Pogonophora* никогде не ветвятся. Они имеют почти цилиндрическую форму, так как очень постепенно расширяются от заднего конца к переднему, и весьма длинны. Длина их колеблется от нескольких сантиметров (у мелких видов *Siboglinum*) до нескольких десятков сантиметров и даже до 1,5 м, например у *Zenkevitchiana longissima A. I.* Диаметр колеблется от 0,12 (у *Siboglinum minutum A. I.*) до 2,8 мм (у *Spirobrachia grandis A. I.*).

Строение и свойства трубки в общем у всех погонофор сходны, хотя различаются гибкие и сравнительно нежные кольчатые трубки видов *Siboglinum* и *Oligobrachia*, пергаментообразные, беловатые, гнущиеся трубки *Zenkevitchiana* и чрезвычайно твердые, негнущиеся толстостенные

---

* В последние годы было доказано, что погонофоры всасывают также через поверхность тела органические вещества, растворенные в морской воде.

бурые или черные трубки *Polybrachia*, *Lamellisabella* и *Spirobrachia*. Детали строения стенок трубки часто могут служить хорошим видовым признаком.

У большинства форм передний конец трубки имеет особое строение. Здесь трубка тонка, нежна, обычно совершенно прозрачна, всегда лишена кольчатости и легко спадается. Напротив, у *Spirobrachia* и *Lamellisabella* передний конец трубки имеет толстые непрозрачные стенки, а ее отверстие воронковидно расширено (рис. 56).

Структура стенок слоистая.

О составе трубок погонофор вплоть до последнего времени сведений не было. Лишь недавно был проведен химический анализ, показавший, что эти трубки состоят из хитина.

Систематическое положение

Иогансон, признав принадлежность *Lamellisabella* к особому классу *Pogonophora*, отнес его к обширному кругу *Vermes Oligomera*, принятому впервые в системе Бючли, а позднее — Крумбаха. Однако это мало что разъясняет, так как *Vermes Oligomera Bütschli* представляют собой слишком искусственную группу. Указание Иогансона на невозможность сближения *Pogonophora* с *Phoronoidea* или включения их в класс *Tentaculata* не вносит ясности, ибо в составе *Oligomera* имеются еще *Brachiopoda*, *Chaethognatha* и *Branchiotremata* (*Enteropneusta* и *Pterobranchia*) — группы весьма разнородные.

Одним из существенных недостатков системы Бючли — Крумбаха является неоправданный отрыв *Hemichordata* (*Branchiotremata*) от явно родственных им *Chordata* и *Echinodermata*. Близость *Hemichordata* к прототипу иглокожих и хордовых, так же как существенные общие черты эмбрионального развития этих групп, объединяемых под именем вторичноротых (*Deuterostomia*), известны со времен Гатчека, Гроббена и особенно хорошо показаны в работах Мак-Брайда, Д. М. Федотова и В. Н. Беклемишева. Каждая из этих групп вместе с тем обладает своим планом строения и, конечно, заслуживает ранга самостоятельного типа.

Многие существенные особенности плана строения *Pogonophora* указывают на их принадлежность к *Deuterostomia*, а среди последних — на близость к типу *Hemichordata*, у которых главные черты древнего трехсегмент-

ного прототипа вторичноротых сохраняются во взрослом состоянии. Эта близость была подмечена Давыдовым и Коллери и отчетливо подчеркнута Беклемишевым. Действительно, теперь, когда основные черты организации *Pogonophora* выяснены, можно указать на ряд признаков, которые являются общими для *Pogonophora* и *Hemichordata*. Таковыми являются трехсегментный состав тела, непарность переднего целома, наличие перикардия, целомодукты первого сегмента, положение гонад в туловищном сегменте, спинной нервный тяж и эпителиальное положение нервной системы. Кроме того, общей особенностью *Pogonophora* и *Enteropneusta* является вторичная метамеризация вытянутого туловищного отдела, хотя она и касается у *Pogonophora* других органов.

Однако эти признаки характерны вообще для низших *Deuterostomia* и не дают оснований для включения *Pogonophora* в состав типа *Hemichordata*. Против такого решения вопроса говорят: принадлежность щупалец не ко второму, как у *Pterobranchia*, а к первому сегменту, сильное развитие передних целомодуктов, которые к тому же несут экскреторную функцию, отсутствие целомодуктов во втором сегменте и развитие их в туловищном сегменте. К числу весьма своеобразных признаков *Pogonophora* относятся также нахождение мозга не во втором, а в первом сегменте, положение сердца на брюшном, а не на спинном сосуде и, наконец, сильная кутикуляризация покровов. Отсутствие жаберных щелей и нотохорда не может служить отличительным признаком ввиду вторичной редукции всего кишечника.

Несомненно, ряд специфических особенностей организации погонофор выработался под влиянием сидячего образа жизни. Одну из таких особенностей представляет собой субституция кишечника весьма своеобразным щупальцевым аппаратом, развившимся на переднем конце тела и выполняющим функции собирания пищи, ее переваривания и всасывания. Другой такой особенностью является способность вырабатывать трубку, с наличием которой связаны чрезвычайная вытянутость тела, а также различные приспособления, облегчающие передвижение животного внутри трубки (уздечка, прикрепительные папиллы, пояски с их зубчатыми пластинками). Прикрепительные папиллы первоначально, вероятно, были рассеяны беспорядочно по всему туловищу.

Затем в связи с характером их функции произошло частичное метамерное упорядочение их расположения, что тоже явилось приспособлением к жизни в трубке.

Все сказанное заставляет рассматривать погонофор как самостоятельный тип *Deuterostomia*, который я предложил называть *Brachiata*.

Географическое и вертикальное распространение

Известно 44 вида погонофор*. Половина их обнаружена в морях Дальнего Востока и в прилегающих водах Тихого океана. Это объясняется, по-видимому, не столько особым изобилием обитающих здесь видов, сколько хорошей изученностью бентоса этой части Мирового океана. На очень широкое распространение погонофор указывает нахождение их в самых различных районах. В водах Малайского архипелага найдены *Siboglinum weberi* и *Galathealinum bruuni*. В Панамском заливе обнаружен вид, описанный Киркегаардом как *Lamellisabella zachsi*. Из Полярного бассейна описана *Polybrachia gorbunovi*, а из Северного моря — *Siboglinum ekmani*.

В 1956 г. П. В. Ушаковым и Г. М. Беляевым — участниками Советской антарктической экспедиции на судне «Обь» —сделана еще одна замечательная находка. Интересная новая форма *Diplobrachia belajevi* была обнаружена ими в Индийском океане, к востоку от Маскаренских островов. Наконец, в том же году В. М. Колтун, работая в составе Высокоширотной арктической экспедиции, добыл еще один вид *Siboglinum* в Гренландском море, у северо-восточного побережья Гренландии.

Экспедициями Института океанологии АН СССР, работавшими на «Витязе», подробно исследован бентос Японского и Охотского, а частью и Берингова морей, Курило-Камчатской и Японской впадин, а также прилегающих пространств Тихого океана. Оказалось, что в окраинных морях и во впадинах погонофоры являются обычными представителями фауны, тогда как на обширных пространствах океанического ложа они отсутствуют. Как видно из приведенной таблицы, в Японском море погонофор почти нет. Несмотря на траления, произведенные в глубоководной области Японского моря К. М. Дерюгиным в 1931 и 1932 гг. на шхуне «Росиннат» и экспедициями «Витязя» в 1950 г., были найдены лишь два обрывка пустой, но свежей трубки *Oligobrachia dogieli* на глубине 2850 м.

---

* По современным данным, 130.

Возможно, что этот вид — единственный в Японском море. Как известно, абиссальной океанической фауны в Японском море нет. Причиной этого, по-видимому, является наличие мелководных проливов, препятствующих проникновению сюда океанических абиссальных животных. В связи с этим существенно, что *Oligobrachia dogieli* принадлежит к немногим эврибатным погонофорам. В Охотском море она обитает на глубине 124—590 м и, в частности, обнаружена вблизи пролива Лаперуза.

Берингово и Охотское моря обладают богатой фауной погонофор, и в каждом из них она имеет свои характерные черты. То же можно сказать и о впадинах Курило-Камчатской и Японской (см. таблицу).

Распределение *Pogonophora* в северо-западной части Тихого океана *

Вид	Западная часть Берингова моря	Охотское море	Японское море	Курило-Камчатская впадина	Японская впадина	Глубина обитания, м
Birsteinia vitjasi	+	—	—	—	—	3330—3932
Siboglinum pellucidum	+	—	—	—	—	1740—4820
S. fedotovi	+	—	—	—	—	2995—3940
Heptabrachia gracilis	+	—	—	—	—	1740—4820
Polybrachia barbata	+	—	—	—	—	3820—3830
Spirobrachia grandis	+	—	—	—	—	3330
Polybrachia annulata	+	+	—	—	—	1440—5000
Lamellisabella zachsi	+	+	—	—	—	2930—3400
Siboglinum minutum	+	—	—	+	—	3740—5540
S. caulleryi	—	+	—	+	—	22—8100
S. plumosum	—	+	—	—	—	194
Oligobrachia dogieli **	—	+	+	+	—	124—2850
Siboglinum cinctutum	—	—	—	+	—	3420
Heptabrachia abyssicola	—	—	—	+	—	6500—8100
Zenkevitchiana longissima	—	—	—	+	—	4850—9700
Spirobrachia beklemischevi	—	—	—	+	—	9000—9050
Lamellisabella johanssoni	—	—	—	—	+	6150
Heptabrachia subtilis	—	—	—	—	+	9715—9735

* + присутствие; — отсутствие.

** По новым данным, в Японском море этот вид замещен *Oligobrachia mashikoi majime*.

В Беринговом море обнаружено девять видов погонофор, из которых шесть нигде более не найдены. В общем

фауна погонофор здесь очень богата и разнообразна, причем о некоторых местах на глубине 3—4 тыс. м встречаются целые комплексы погонофор, состоящие из трех—шести видов, обитающих вместе. В состав этих комплексов почти всегда входят *Polybrachia annulata*, *Heptabrachia gracilis*, *Siboglinum fedotovi* и *S. pellucidum*, довольно часты *Birsteinia vitjasi*, *Spirobrachia grandis* и *Lamellisabella zachsi*.

В Охотском море явно обнаруживаются две экологически различные группы видов. Одна группа приурочена к сублиторали и батиали и характерна для северной части бассейна. Она представлена *Siboglinum caulleryi*, *Oligo-*
310 *brachia dogieli* и, возможно, *Siboglinum plumosum*. Другая
группа видов характерна для абиссали и включает *Lamellisabella zachsi* и *Polybrachia annulata*. Интересно, что в Охотском море нет эндемичных видов, кроме, может быть, мелководного *Siboglinum plumosum*, единственный экземпляр которого обнаружен к востоку от побережья Сахалина.

Возможно, это указывает на сравнительно позднее происхождение фауны погонофор Охотского моря за счет проникновения в этот бассейн видов из Курило-Камчатской впадины и Берингова моря.

В Курило-Камчатской впадине обнаружено восемь видов. Только здесь встречаются четыре вида, из которых два — *Zenkevitchiana longissima* и *Spirobrachia brklemischevi*,— вероятно, очень характерны.

Японская впадина изучена «Витязем» в гораздо меньшей степени, но и здесь два обнаруженных вида погонофор (*Lamellisabella johanssoni* и *Heptabrachia subtilis*, по-видимому, весьма специфичны.

В отношении вертикального распространения погонофор следует отметить, что взгляд на погонофор как на исключительно абиссальных животных требует существенной ревизии. В подавляющем большинстве погонофоры действительно встречаются только в абиссальной области, для которой они весьма характерны. Так, из 44 известных до сих пор видов погонофор 25 (58%) встречены на глубинах более 3000 м. Из этих видов только 9 обитают и в более высоких горизонтах, а 16 видов (37% всех описанных) ни разу не были обнаружены на глубинах более 3 тыс. м. Однако некоторые виды обитают и в батиали, и даже в сублиторали. Такие виды, между прочим, характерны для Охотского моря. Интересен тот факт, что и из этих «мелководных» форм часть встречается также и на абиссальных глубинах. С глубин менее 1 тыс. м известно

шестнадцать видов погонофор, но лишь 11 из них не встречены глубже 1 тыс. м. Три других вида (*Oligobrachia dogieli*, *Siboglinum weberi* и *S. caulleryi*) обладают широким вертикальным распространением, опускаясь на глубину более 2 тыс. м. *Siboglinum caulleryi* в особенности вызывает удивление своей способностью жить как на мелководье Охотского моря (на глубине 22 м), так и в пучинах Курило-Камчатской впадины (на глубине 8100 м).

Десять видов погонофор встречены на максимальных океанических глубинах, превышающих 5 тыс. м, а восемь из них приурочены исключительно к этим глубинам. Наибольшая глубина нахождения погонофор — 9735 м.

Кроме того, мы располагаем материалом, собранным за последние годы советскими экспедициями на «Витязе» и на «Оби», включающим еще 30 видов преимущественно из рода *Siboglinum*. Дать описание этих видов пока не представляется возможным в силу недостаточности или фрагментарности материала. Показательно, что характер вертикального распространения этих видов вполне соответствует таковому для ранее описанных видов: 8 видов приурочено к глубинам от 5 тыс. до 9 тыс. м, 11 видов получены с глубин менее 3 тыс. м.

Тридцать девятый рейс „Витязя“

История океанологии — это история морских экспедиций. Без морских экспедиций невозможно развитие науки о море — океанологии. Никакие лабораторные исследования не могут сами по себе его обеспечить. Вот почему основоположники современной морской науки Нансен, Мюррей, Книпович, Дерюгин, Свердруп, Альберт Монакский и многие другие были настоящими моряками, для которых палуба корабля была исследовательской лабораторией, где рождались и обогащались фактами основы современной океанологии.

Исследовательский корабль, руководящий им научный коллектив и сама наука океанология представляют единое и неразрывное целое, ни одна часть этого триединства не может существовать без двух других, именно оно создает движущие силы науки о морях и океанах. Без этого наша наука была бы мертвой.

Это положение нашло свое блестящее подтверждение в создании в 1922—1923 гг. коллективом молодых ученых под руководством И. И. Месяцева славного корабля «Персея», сыгравшего своими 18-летними исследованиями крупнейшую роль в истории советской и мировой морской науки.

Таким же образом во второй половине 40-х годов коллективом ученых под руководством П. П. Ширшова был создан флагман советского исследовательского флота «Витязь», выдвинувший своими 18-летними исследованиями Мирового океана советскую океанологию на одно из первых мест в мировой науке.

Каждое очередное плавание научно-исследовательского корабля — это определенный этап в развитии науки о море. При этом расширяются и уточняются результаты, которые достигнуты в предыдущих исследованиях, открываются новые факты и намечаются пути дальнейших исследований.

Тридцать девятый рейс «Витязя» занимает совершенно особое место в 18-летних исследованиях Института океанологии АН СССР. Сильное развитие океанологии за последние годы, углубление и расширение отдельных ее разделов — физики, биологии, химии и геологии океана — вызвали необходимость организации специализированных рейсов, в основную задачу которых входят исследования именно в одном из указанных разделов. Так, 39-й рейс был специализированным биологическим. Конечно, проводились также работы и по другим разделам океанологии, но основное внимание и время должны были уделяться проблемам биоокеанологии.

Подчинение работ 39-го рейса биологическим проблемам дало возможность поставить биологические исследования с той полнотой, которой не удавалось достичь ни в одной экспедиции. Из 63 человек научного персонала 34 были биологами, которые делились на шесть отрядов: микробиологии, первичной продукции, планктона, донной фауны, ихтиологии и биохимии,— в целом охватывавших все стороны биологических явлений в рамках проблемы трансформации органического вещества в море. Выполнение этой задачи обеспечивалось также работами и других отрядов — гидрохимии, гидрологии и метеорологии.

Таким образом, основная цель рейса заключалась в том, чтобы дать охват всего круга биологических явлений и процессов, протекающих в океане.

Как и в каждой подобного типа экспедиции, существенное значение имел выбор района работ, который должен в наибольшей степени соответствовать поставленным задачам. В данном случае выбор пал на Курило-Камчатскую впадину; она расположена вблизи наших побережий, имеет глубины до 10 км, и оба ее склона, как западный, поднимающийся к мелководьям Курильских островов, так и восточный, поднимающийся на возвышенность Зенкевича, а затем переходящий в ложе океана, представляют самостоятельный большой интерес. «Витязь» не новичок в этом районе: он не раз проводил работы в разных местах этой впадины Тихого океана. Тем более ощущалась необходимость уточнить в этом уже неплохо изученном районе ряд закономерностей состава, распределения, экологии фауны, процессов продуктивности и трофических связей от поверхности океана до наибольших глубин с охватом и пелагической и донной жизни во всем их многообразии.

Наконец, перед экспедицией стояла и еще одна немаловажная задача. До недавнего времени рыбный промысел

ограничивался ловом рыбы на небольших глубинах материкового шельфа и в самом поверхностном слое воды в открытой части океанов. Считалось, что на большие глубины промысловые орудия лова опускать нечего, так как там нет промысловых концентраций объектов промысла. В самые последние годы обнаружилась неправильность этого мнения. Суда поисковой разведки рыбной промышленности то и дело то там, то здесь стали натыкаться на большие скопления рыбы за пределами материкового шельфа, на глубинах 500, 750, 1000 и даже 1500 м, т. е. на так называемом материковом склоне, или батиали.

В ряде случаев уловы промыслового трала на склонах батиали не уступали уловам на богатых рыбой участках шельфа. В северо-западной части Тихого океана и в Беринговом море эти обильные уловы состояли в основном из макрурусов, угольной рыбы, глубоководных палтусов и морских окуней. Все это рыбы, не встречающиеся на материковом шельфе и обитающие в более глубоких горизонтах батиали.

До настоящего времени было неясно, что же обусловливает концентрацию рыб на глубинах батиали, что привлекает их сюда. Это тем более интересно, что скопление рыб в батиали, по-видимому, характерно для всего океана.

Следует отметить, что в истории развития знаний об океане изучение батиали осталось вне круга внимания. В течение столетий интересы исследователя сосредоточивались на материковом шельфе, а затем, и особенно за последние 10—15 лет, сразу перенеслись на открытый океан и большие глубины абиссали и ультраабиссали. Батиаль осталась в стороне, и наши знания о ней были ничтожно малы.

Вместе с тем можно с уверенностью утверждать, что в ближайшие годы именно на эту часть океана будет проводиться настойчивое наступление, что с батиали начнется научное и хозяйственное освоение глубин.

Еще совсем недавно исследование и использование в хозяйственных целях глубин океана никем не воспринимались как одна из наиболее важных и практически наиболее актуальных проблем будущих десятилетий, а весь океан — как будущая арена хозяйственной деятельности человека, притом не меньшего значения, чем суша. Еще несколько лет тому назад акваланг и ныряющее блюдце Кусто, а в самые последние годы французские «Преконтиненты», американские «Дипстары» и «Сихебы», японские «Кабасаки» подавляющим большинством рассматривались как объекты развлечения и спорта. Сейчас мы должны совершенно

иначе взглянуть на эти вещи. Наступление на батиаль — очередной этап овладения глубинами океана.

Огромный интерес вызывает в современной океанологии глубоководная фауна, ее состав, распределение и экологические особенности, особенно ультраабиссальная фауна — фауна глубоководных впадин. Курило-Камчатская впадина с ее склонами представляет собой очень удачный объект для проведения исследований в трех указанных направлениях: полный охват всех биологических явлений, детальное обследование склонов батиали и тщательное изучение абиссальной и ультраабиссальной фауны.

Наш рейс начался 7 июля и закончился 14 сентября. Выйдя из Владивостока, «Витязь» через Японское море и пролив Лаперуза вышел в Охотское море, а затем через пролив Буссоль между островами Чирпой и Симушир — в Тихий океан. 11 июля, рано утром, «Витязь» начал свой первый поперечный разрез через сублитораль, батиаль и абиссаль в ультраабиссаль, а затем через восточный склон впадины и вал Зенкевича на ложе океана.

Этот разрез занял большую часть времени экспедиции (47 дней), за которое было проведено 34 станции. Несколько остановок было сделано только для фотографирования морского дна. Они длились 20—50 минут, но наряду с этим проводились и станции по 24, 40, 80 часов, а станция № 5612, на глубине около 9 тыс. м, продолжалась почти семь суток. Понятно, что за столь длительный срок течением и ветром корабль относило от курса на много миль, и по окончании станций нам приходилось возвращаться на исходное место.

В то время, когда «Витязь» работал на первом разрезе и уже перешел через наибольшие глубины желоба, к месту работ стал приближаться тайфун «Рита», за которым мы следили уже трое суток по синоптическим картам. Избежать встречи с тайфуном мы уже не могли, и 11 августа нам пришлось, не закончив пяти последних станций, приостановить работы и уходить в Петропавловск-Камчатский. 13 августа «Витязь» вернулся к прерванному разрезу.

Работы по первому разрезу очень затруднялись сложностью рельефа дна. Западный склон Курило-Камчатской впадины круто падает к глубинам; иногда за время станций глубина менялась на 1—1,5 км, что при опусканиях приборов на дно крайне мешало работе, а при скалистом грунте приводило к обрывам троса и потере приборов.

Затем «Витязь» перешел к выполнению второй части рейса — работам на наибольших глубинах желоба, свыше 9 тыс. м, т. е. в нижних горизонтах ультраабиссали. На

этих станциях с 21 августа по 5 сентября, т. е. за две недели, был получен очень ценный дополнительный материал по ультраабиссальной фауне и попутно проведена съемка рельефа дна наиболее глубокой части желоба. Видимо, глубинная часть желоба внутри 9000-метровой изобаты представляет собой несколько понижений с глубинами свыше 9500 м.

Третья часть рейса, разрез поперек западного склона впадины к острову Итурупу, заняла немного времени, всего около недели, однако работы проходили под угрозой приближающегося через Японское море тайфуна «Дорис», и 10 сентября пришлось все прекратить и возвращаться
316 во Владивосток, куда «Витязь» и прибыл 13 сентября.

Всего за рейс было пройдено 4707 морских миль.

Нередко окончание одной станции совпадало с началом следующей. Это не совсем обычно для «Витязя», потому что время, затраченное на станции, как правило, составляло в предыдущих рейсах 20—25% всего плавания. Поэтому в 39-м рейсе для научного персонала и экипажа создались очень трудные условия работы, тем более, что за два с лишним месяца пребывания в плавании заход в порт занял всего два дня.

Сильно мешали работам также и сплошные туманы, господствующие в это время года в районе Курил: неделями «Витязь» вел исследования в сплошном «молоке» при влажности воздуха 98—99%, не видя ни солнца, ни горизонта. Несмотря на все это, исследования проводились с огромным увлечением круглые сутки: на палубе кипела работа, грохотали лебедки, опускались за борт приборы, не потухал свет в лабораториях. Корабль оправдал свою славу плавучей морской лаборатории: он заполнял белые пятна, открывал новые факты, находил им объяснения, вскрывал своими приборами «тайны моря». Еще не пришло время дать полную оценку всему материалу, собранному «Витязем» в последнем рейсе, однако о многом новом и интересном уже сейчас можно рассказать.

В сложных циклических процессах трансформации органического вещества в биосфере, условно называемых круговоротом веществ, имеется одно звено, с которого удобнее всего начинать изучение последовательных превращений живого компонента океанической биосферы. Это процессы первичной продукции — создание фотосинтезирующими растениями нового органического вещества.

Растительный мир морей и океанов состоит из низших растений — водорослей, которые делятся на две неравные части: взвешенный в воде фитопланктон (множество одно-

клеточных водорослей, главным образом диатомовых и дипофлагелят) и прибрежные макрофиты, многоклеточные растения (зеленые, бурые и красные водоросли). И те и другие могут в наибольшей массе существовать только в самом поверхностном слое в несколько десятков метров, где достаточно света для их фотосинтетической деятельности. Многоклеточные водоросли макрофиты опоясывают прибрежье всего Мирового океана. Между двумя группами фотопродуцентов имеется существенная разница. Прибрежные макрофиты в среднем для всего океана за год воспроизводят растительную массу, равную их количеству, или, как говорят, их годовая продукция равна их биомассе. Планктонные водоросли, состоящие из одноклеточных организмов, в низких широтах размножаются с большой быстротой, несколько сот раз за год, в силу чего отношение годовой продукции к биомассе у них превышает 300. В своем докладе на II Международном океанографическом конгрессе профессор В. Г. Богоров дал расчет биомассы и продукции для основных групп населения океана (см. табл. 1).

Таблица 1

Биомасса и продукция различных групп организмов
(в млрд. т, в сыром весе)

Группа	Биомасса	Продукция	Отношение продукции к биомассе
Продуценты:			
Фитопланктон	1,5	550	366
Фитобентос	0,2	0,2	1
Консументы:			
Зоопланктон	21,5	53	2,5
Зообентос	10,0	3	0,3
Нектон	1,0	0,2	0,2
В сумме:			
Водоросли	1,7	550,2	324
Животные	32,5	56,2	1,7

Конечно, этот расчет имеет пока предварительный и ориентировочный характер.

В дальнейшем необходимо добавить данные по бактериям и микроорганизмам вообще и уточнить все приведенные числа. Это та «большая биологическая таксация» оке-

ана, которая должна лечь в основу представлений о его продуктивных способностях и перспективах хозяйственного освоения его ресурсов.

Исследования по первичной продукции проводились в нашем рейсе с большой тщательностью и полнотой, причем на ряде станций были осуществлены полусуточные наблюдения — методом темной и светлой склянки (по O_2) и углеродным методом (по C_{14}). Параллельно проводился анализ самих пигментов и подводной освещенности, прозрачности воды, определялось количество солнечной энергии и, конечно, качественная и количественная характеристика самого фитопланктона. С такой полнотой учет первичной продукции проводился впервые. Само собой разумеется, что все эти работы сопровождались определением растворенных в воде O_2, щелочности, концентрации водородных ионов (pH), фосфатов, нитритов, нитратов и кремния, а также всех прочих гидрологических и гидрохимических показателей.

По своим продуктивным свойствам район, охваченный 39-м рейсом «Витязя», может быть отнесен к прибрежной зоне умеренной бореальной области, для которой продукция фитопланктона на поверхности колеблется от 10 до 100 мг/куб. м углерода за сутки. Если же взять столб воды через весь фотосинтезирующий слой (100 м сечением 1 кв. м), то получается величина продукции, близкая к 100 г углерода за год. Эта величина близка к продукции в районах подъема глубинных вод в тропической зоне и уступает только районам с наиболее высокой продукцией в умеренных зонах северного и южного полушария.

Определение пигментов показало, что суммарное количество хлорофилла a, b и c в слое 0—100 м колеблется от 50 до 200 мг/куб. м, причем хлорофилл c обычно составлял около 50% от суммы всех трех групп, хролофилл a — 30—40% и хлорофилл b —10—20%. В зависимости от мутности воды, освещенности и некоторых других факторов активность фотосинтеза может значительно изменяться и в своих суммарных показателях, и по слоям. Кроме того, как известно, лучи разных частей спектра проникают в глубине по-разному, в связи с чем «настроенность» (адаптация) пигментной системы фитопланктона на световой режим претерпевает с глубиной изменения. Основной для фотосинтеза пигмент хлорофилл a поглощает лучи красной и сине-фиолетовой части спектра, т. е. те лучи, которые проникают в воду глубже 10—15 м. Хлорофиллы b и c поглощают кроме сине-фиолетовых желтые и зеленые лучи, проникающие глубже. С увеличением глу-

бины доля хлорофилла a падает, а хлорофиллов b и c возрастает. Относительное количество хлорофиллов a и c представляет как бы зеркальное отражение.

Таким образом, исследования процесса первичной продукции, проведенные в 39-м рейсе «Витязя», дали детальную и полноценную картину вертикального распределения этого процесса в фотосинтезирующем слое, главным образом в верхней 50-метровой толще, и его суммарную количественную характеристику. Фотосинтетическая деятельность фитопланктона, в основном в верхних 50 м, вводит в процессы круговорота органических веществ новые массы органики, превышающие во много раз биомассу и продукцию всех организмов океана, вместе взятых. Этот гигантский процесс воспроизводства органики, ограниченный тонким поверхностным слоем океана, насыщает пищей все животное население 11-километровой его толщи. Сложная система трансформации органического вещества, проходящего через мириады тел животных в различного уровня трофических звеньях зоопланктона, захватывает наибольшие глубины, обеспечивая жизнь ультраабиссальной фауны, а затем частично уходя обратно, в раствор, в морскую воду и частично в донные осадки. К сожалению, пока ни у нас, ни за рубежом не расшифрована роль во всем этом микробиологических процессов как третьего компонента круговорота органики в биосфере, связующего живые и косные тела. Именно им принадлежит наибольшая роль в создании и в превращениях биокосных тел.

В изучении зоопланктона, которое занимало в нашем рейсе одно из первых мест, определилось несколько основных направлений: систематический состав и вертикальная зональность, количественное распределение, вертикальные миграции, трофические связи, биохимический состав планктона на разных глубинах и, наконец, скорость и характер распада отмершего планктона по мере его погружения в глубинные слои. Прежде всего, конечно, представляют интерес изменения в количественном распределении зоопланктона с глубиной, что в значительной степени отражает и распределение пищевых ресурсов, необходимых планктону. Так, в самом верхнем слое моря, где обилие фитопланктона обеспечивает существование зоопланктона, количество последнего достигает 1 г/куб. м воды. С глубиной масса планктона убывает и в глубинах Курило-Камчатской впадины падает до долей 1 мг/куб. м, т. е. в тысячи раз. Резкое понижение биомассы планктона на глубине 100—200 м объясняется залеганием

на этом горизонте бедного планктоном холодного промежуточного слоя, оставшегося от предыдущего зимнего периода. С глубиной изменяется не только общее количество планктона: в верхней толще моря резко преобладают (до 90%) веслоногие (низшие) ракообразные. На средних глубинах (1500—3 тыс. м) резкое преобладание (до 50%) получают щетинкочелюстные, а глубже 4000 м важное значение приобретают высшие ракообразные (до 40%) — мизиды и амфиподы. Эти смены соответствуют сменам трофических группировок. Самый верхний слой характерен преобладанием фильтратов (в том числе и веслоногих ракообразных). Уже на глубине 100—200 м начинают входить в силу хищники и коменсалисты, а на большой глубине преобладают эврифаги. Нарушения в плавном ходе смены трофических групп объясняются, видимо, вертикальными миграциями.

Благоприятная погода, сопутствовавшая рейсу, дала возможность впервые провести дробные послойные обловы планктона на горизонтах 8—7 тыс. м, 7—6 тыс. м, 6—5 тыс. м, т. е. в ультраабиссали. Эти ловы проводились как замыкающимися вертикальными сетями, так и горизонтальными, тоже замыкающимися, буксируемыми рингтралами. Эти ловы дали чрезвычайно интересные данные, однако обработка их, как и результатов химического анализа планктона и органической взвеси, потребует длительного времени.

Переходя к результатам исследований донной фауны Курило-Камчатской впадины и ее склонов, следует прежде всего остановиться на некоторых данных, полученных от систематически проводившегося фотографирования морского дна. Такое фотографирование применяется в океанологии не более двух десятилетий, но особенное развитие получило только за последние годы. «Витязь» был в этом деле одним из пионеров.

Подводная фотография должна стать постоянным спутником морских экспедиций и одним из наиболее эффективных методов исследований не только биологических и геологических, но и гидрологических и, вероятно, гидрохимических. Надо иметь в виду, что до настоящего времени у нас нет данных о режиме придонного слоя воды — основной фабрики процессов, характеризующих проблему «океан — дно», кардинальнейшую проблему современной океанологии. Фотография несомненно дает возможность точно учесть количество и размеры более крупных животных — рыб и беспозвоночных, так как известна площадь снимаемого дна (она может достигать 2, 4, 8 кв. м и более). С при-

менением экрана на близком расстоянии может быть снят и планктон. При всем этом вполне осуществима киносъемка, чем будет введен и параметр времени. Стереоскопическая съемка дает рельефное изображение. Совмещение фотографии с телевидением даст возможность делать снимки не вслепую, а тогда, когда перед объективом аппарата появляется то, что надо снять. Если на случайные снимки попадает столько удивительного и интересного, то насколько же ценнее будут данные, полученные при помощи телевидения! Не может быть никакого сомнения в том, что соединение с киноаппаратом некоторых несложных дополнений даст возможность точно определить направление и скорость придонного течения, а введением красочных реактивов можно будет объяснить некоторые особенности химического режима придонного слоя, и все это *in situ*, а не по образцам, вынесенным с глубин на палубу корабля. Однако почти все это — в будущем. А в 39-м рейсе, исходя из задания исследовать батиаль, проводилась систематическая стереоскопическая съемка дна площадью 2 кв. м на обоих разрезах поперек западного склона впадины: на первом разрезе — до 5500 м, а на втором — до 3 тыс. м. Вот тут-то мы и получили разгадку больших скоплений рыб на глубинах батиали за пределами материкового гребня. Фотографии дна на глубинах 300, 500, 1000 и 1500 м часто показывали скопление обильной фауны, заросли губок и кишечнополостных. И те и другие не очень подходящая пища для рыб, но среди них в изобилии прячутся лакомые для них черви, моллюски и ракообразные. Интенсивное развитие жизни на склонах батиали объясняется сносом с пологого материкового шельфа обильной органики.

Нередко зоологический трал приходил с глубин батиали набитым рыбой, в том числе довольно крупной, особенно рода длиннохвостов (Macrurus).

Фотографии морского дна дают хорошее представление о деталях его поверхности, которое никаким другим способом получено быть не может. На этой поверхности видны следы быстрых придонных течений и смена твердых пород на мягкие осадки.

Переходя к описанию некоторых особенностей распределения донной фауны, надо отдельно сказать о замечательной группе фораминифер — об одноклеточных корненожках. Это единственная в донной фауне группа простейших, играющая огромную роль, вскрытую впервые в 39-м рейсе «Витязя». Давно известные домики фораминифер обычно в морских осадках принимались за субфос-

сильные остатки мертвых фораминифер, сохраняющихся в целости очень длительное время. Количественные пробы, получаемые дночерпателем, показали, насколько велико число фораминифер на дне океана на всех его глубинах. В верхних горизонтах преобладают фораминиферы с секреционными домиками (обычно из $CaCO_3$), в глубинной части океанского ложа секреционные домики сменяются агглютинированными, склеенными из песчинок. Это результат проявления на больших глубинах океана, где под влиянием давления CO_2 оказывается гораздо более активным, своеобразного рахитизма, связанного с трудностью формирования углекальциевого скелета. Количество до-
322 миков фораминифер в самом поверхностном слое донных осадков (не более 1 см) исчислялось в обследованном нами районе десятками и сотнями тысяч экземпляров на 1 кв. м. Но вот какая неожиданность установлена в нашем рейсе: применение специальных диагностических красок (бенгальская розовая) показало, что значительная часть ($^{1}/_{6}$—$^{1}/_{7}$) фораминифер была в момент их вылова живой (табл. 2).

Таблица 2

Численность живых фораминифер на склонах Курило-Камчатской впадины (на 1 кв. м)

№ станций	Глубина (в м)	Число живых фораминифер (на 1 кв. м дна)
5 601	2 800	18 400
5 622	5 110	27 300
5 625	6 225	21 500
5 612	8 300	55 790

В среднем на весь обследованный район живые фораминиферы, по расчетам Х. М. Саидовой, дают 2—3 г живой протоплазмы на 1 кв. м. В отдельных участках и на разных станциях это количество возрастает до 6—8 г/кв. м, а иногда свыше 10 кв. м, что совершенно достаточно для прокорма тех грунтоедов, которые заглатывают фораминифер. Надо иметь в виду, что огромные пространства дна океана имеют общую биомассу донной фауны менее 1 г/кв. м. При этом следует учитывать довольно высокий показатель продуктивности фораминифер, дающих, конечно,

много поколений в течение года, т. е., иначе говоря, высокую их способность к размножению. Полученные данные в значительной степени изменяют наши представления о процессах трансформации органических веществ на океанском дне. Следует признать, что устилающий его «фораминиферовый ковер» по своему количественному обилию и месту в жизненных процессах на дне морей и океанов играет ведущую роль, совершенно не оцененную до настоящего времени. Не окажется ли, что роль фораминифер для донной фауны в какой-то степени аналогична роли фитопланктона в верхних слоях пелагиали, если учесть, что фораминиферы, видимо, обладают способностью использовать для своего питания растворенные в морской воде органические вещества. Во всяком случае планктонные сети обнаруживают в придонном слое воды большие массы органики в виде тел планктонных животных в состоянии распада (дождь трупов). Сборы глубоководной фауны в 39-м рейсе весьма значительно обогатили и уточнили наши знания о ее систематическом составе. Подавляющее большинство сведений о составе абиссальной и особенно ультраабиссальной фауны получено в результате двухлетних (1950—1952 гг.) исследований датской кругосветной экспедиции на «Галатее» и 17-летних исследований нашего «Витязя». Н. Г. Виноградова и Г. М. Беляев произвели подсчет видов, известных с глубин от 200 до 6 тыс. м. Для Тихого океана число видов равно 1140, что составляет от всей фауны Тихого океана не более 0,8%. Из ультраабиссали Тихого океана (глубже 6 тыс. м) описано 254 вида, а для всего Мирового океана — 286 видов. Столь значительное преобладание ультраабиссальной фауны в Тихом океане объясняется тем, что глубоководные впадины Мирового океана в основном расположены в Тихом океане (19 из 23). Сборы нашего рейса добавят к описанным 258 видам не менее трети новых. Это факт очень большого значения, если учесть, что для Курило-Камчатской впадины описано пока только 65 видов животных, а все новые приходятся именно на эту впадину. После 39-го рейса с полным основанием можно считать систематический состав фауны Курило-Камчатской впадины выясненным с большой полнотой в отличие от всех остальных впадин Тихого океана. Знание систематического состава фауны глубоководных впадин имеет огромное значение не только для зоологии. Дело в том, что глубоководные впадины в геологической истории океана — образование относительно молодое. Фауна глубоководных впадин представляет собой производное от

фаун абиссальных глубин океана (4—6 тыс. м), и степень самостоятельности систематического состава фауны впадин может характеризовать древность самих впадин. Оказывается, что видовой эндемизм ультраабиссальной фауны составляет примерно 70 %, а родовой — всего около 10 %. В составе ультраабиссальной фауны имеется только одно эндемичное семейство (актинии Calatheanthemidae). Такие же показатели можно получить и для каждой отдельной впадины. Учитывая приведенные данные, можно говорить, конечно совершенно условно, о позднемезозойском возрасте впадин. Кроме того, сравнение эндемизма фауны отдельных впадин даст возможность сравнительного сопоставления их возраста. Пока что в анализе вопроса о возрасте глубоководных впадин их фауна является единственным более или менее надежным критерием.

Систематическая обособленность фауны глубоководных впадин дает также богатый материал для оценки самого процесса видообразования как части эволюционного процесса, протекающего в океане, и тем самым в какой-то степени для суждения и о возрасте океана в целом.

Тщательное обследование глубоководного желоба, особенно западных его склонов, дало возможность с большой детальностью установить вертикальную зональность в распределении донной фауны. Прежде всего следует отметить, что если для планктона разделение глубоководной зоны на абиссальную и ультраабиссальную недостаточно резко, то для бентоса выделение этих двух самостоятельных зон вполне обосновано и вся вертикальная зональность распределения донной фауны проявляется гораздо резче. Это различие между планктоном и бентосом вполне понятно. Планктонные организмы легче перемещаются в водной толще в вертикальном направлении, а сами водные массы, населяемые определенными планктонными биоценозами, также могут значительно перемещаться в вертикальном направлении.

Наконец, многие планктонные организмы совершают вертикальные миграции, как суточные и сезонные, так и возрастные. Все это «размывает» границы вертикальных зон для планктона. Донные организмы крепче связаны со своим субстратом — дном и менее склонны к вертикальным перемещениям.

Последующая детальная обработка материала в лабораториях уточнит эти границы.

Чрезвычайный интерес представляют также уточненные в 39-м рейсе данные об абиссальных и ультраабиссальных биогеоценозах. Для сравнительной биогеоценологии эти

данные представляют совершенно исключительный по ценности материал в силу того, что с нарастанием глубины выпадают не только отдельные формы, но и целые группы животных. Так, например, рыбы не обнаружены глубже 7587 м, десятиногие ракообразные — глубже 5300 м, морские звезды — глубже 8400 м, тогда как все эти три группы в биоценозах играют в силу своей массовости и хищного поведения первостепенную роль. Глубже всего проникают из массовых форм, имеющих в биоценозах наибольшее значение, фораминиферы, актинии, полихеты, равноногие ракообразные, амфиподы, двустворчатые моллюски и голотурии, в отдельных случаях эхиуровые черви и погонофоры. Резко доминирующее же значение на наибольших глубинах ультраабиссали имеют иглокожие (табл. 3), но главным образом голотурии.

Таблица 3

Значение иглокожих в донной фауне Курило-Камчатского желоба (в % по весу) в траловых уловах 39-го рейса «Витязя»

	Глубина (в м)							
	1000	1000—3000	3000—5000	5000—6000	6000—7000	7000—8000	8000—9000	более 9000
Все иглокожие	10	53	59	78	66	32	94	93
В том числе:								
Голотурии	?	25	41	53	34	31	93	93
Звезды и офиуры	9,5	6	10	22	27	1	1	—
Ежи	0,5	22	5	3	5	—	—	—

В среднем по 23 траловым ловам иглокожие составляют по весу 62 % всей донной фауны, а голотурии —46 %. Вместе с иглокожими основная роль, как мы говорили, принадлежит фораминиферам и в гораздо меньшей степени двустворчатым моллюскам и полихетам. В силу этого характер биоценозов наибольших глубин впадин меняется с увеличением глубины и имеет весьма своеобразный характер. Глубоководные иглокожие в основном питаются грунтом и, по-видимому, фораминиферами, но их самих никто не ест — они представляют собой конечное звено пищевых цепей. В этом и заключается своеобразие биоценозов ультраабиссали.

Подобно биомассе планктона, биомасса бентоса убывает с глубиной, падая от многих сотен граммов или даже

нескольких килограммов на материковом шельфе до долей грамма на ложе океана. На батиали вблизи Курильских островов и на абиссальных глубинах западного склона Курило-Камчатской впадины количество донной фауны (по данным дночерпателя) претерпевает заметные колебания в зависимости от резко меняющихся условий (грунты, течения), от долей грамма до двух десятков граммов на 1 кв. м. Однако параллельно проведенное фотографирование дна показало, что к данным дночерпателя в таком районе следует сделать существенные поправки. В зоне батиали биомасса бентоса значительно выше, чем по данным дночерпателя, и, вероятно, должна определяться многими десятками граммов на 1 кв. м. То же в значительной степени относится и к абиссальной зоне, и только в ультраабиссали биомасса бентоса падает до нескольких граммов. С переходом на восточный склон впадины и с удалением от побережий количественное распределение донной фауны приобретает более спокойный характер и биомасса падает до долей грамма на 1 кв. м.

В целом следует считать, что в 39-м рейсе «Витязя» достигнуты крупные успехи по всем разделам биологических работ, представляющих собой в значительной степени новые для науки факты и ставящих на очередь новые проблемы в океанологии.

Рыбы плавают «по компасу»

Наиболее сложные и далекие путешествия в морях и океанах совершают низшие группы рыб (миноговые, акулы, сельдевые, лососевые, корюшковые). Как же они ориентируются в безбрежных морских просторах? Современные исследователи пришли к выводу, что морским организмам для столь сложной навигации необходимо обладать «биологическим компасом» и «биологическими часами». Механизмы этих биологических «приборов» должны основываться на взаимодействии каких-то внутренних систем организма с тем или иным фактором внешней среды. В процессе эволюции организмы на Земле постепенно освобождались из-под власти случайных влияний, вырабатывая определенную защитную реакцию против них и «учась» использованию только тех внешних факторов, которые были постоянными или носили периодический характер. Естественно предположить, что постоянные внешние факторы помогли формированию механизма «компаса», а периодические — механизма «часов».

Какие же именно внутренние системы морских «путешественников» и какие внешние факторы среды, взаимодействуя, осуществляют навигацию? Некоторые ученые считают, что постоянным внешним фактором является магнитное поле Земли. Но как это доказать?

В 1969 г. биологи из Атлантического института рыбного хозяйства и океанографии В. А. Ходоровский, С. И. Глейзер вместе с геофизиками Научно-исследовательского института геологии Арктики А. М. Городницким и Н. Н. Трубятчинским поставили эксперимент. Инициаторами работ были заместитель директора Атлантического института В. Н. Яковлев и начальник отдела геофизики Института геологии Арктики профессор Р. М. Деменицкая.

Испытуемыми в эксперименте были особи европейского угря. Европейский угорь распространен в прибрежных

водах Европы от Скандинавии до Гибралтара, он населяет мелкие и крупные реки. Угорь живет обычно в пресной речной воде от 6 до 19 лет, а затем половозрелые особи отправляются на нерест в далекое Саргассово море, пересекая весь Атлантический океан по неизменному пути с северо-востока на юго-запад. Что помогает им строго «держать курс»? Не зависит ли миграция рыб от геомагнитного поля? И если зависит, то как? Другими словами — могут ли рыбы ориентироваться по магнитному полю Земли?





Рис. 57. Миграционный путь европейского угря

Для опытов отобрали мальков — особей длиной около 10 см. Исследователи должны были оценить влияние магнитного поля Земли на ориентацию угря в пространстве, а также выяснить, есть ли суточные ритмы в поведении рыбы, в ее двигательной активности. Другими словами — обладает ли угорь «биологическим компасом» и «биологическими часами»? Опыты проводились в специальном аквариуме-лабиринте, который сверху напоминает пчелиные соты. Лабиринт состоит из семи шестигранных секций, стенки которых образуют каналы, сходящиеся по три в один узел. Таким образом, двигаясь по любому из каналов, рыба непременно окажется в узле и ей придется выбирать один из двух других каналов, расположенных под одинаковыми углами к первоначальному пути. Повернуть рыбе направо или налево — зависит от какого-то внешнего фактора, а если таковой отсутствует, то рыбе безразлично, выбор пути окажется абсолютно случай-

ным. Стало быть, испытуемому объекту примерно одинаково понравится и правое и левое направление. А это значит, что рыба пройдет все каналы лабиринта одинаковое число раз. Конструктивная особенность лабиринта такова, что все 24 канала, распределенные равномерно по площади лабиринта, параллельны трем осям, лежащим в плоскости под углами 120° друг к другу.

Задача сводилась к тому, чтобы зафиксировать, сколько раз за определенный промежуток времени в каждый из трех каналов (а в узле их только три) заплывает рыба. Все случаи заплыва суммировались, и полученные величины сравнивались между собой. Если никаких внешних воздействий на рыбу нет (ее не отвлекают ни запах, ни тепло, ни звук и т. д.), то в каждом канале она побывает примерно одинаковое число раз. Лабиринт именно так и задуман: ни свет, ни звук, ни тепло в него не проникают. И если в этих условиях между частотой появления угря на каждой из осей-каналов есть различие, то причину его нужно искать в действии какого-то постоянного фактора. Таким единственным постоянным фактором является магнитное поле Земли, которое должно быть однородным. Если же действие магнитного поля меняется вдоль каждой оси, то все равно соотношение числа «заплывов» угря в каждый из трех каналов не изменится. Это характерное свойство лабиринта дает своеобразный внутренний контроль для всех экспериментов. Таким образом, лабиринт позволяет определять действие на угря лишь однородных силовых полей. Планируя эксперимент, нужно было заранее предвидеть, сколько времени должен находиться угорь в лабиринте, чтобы запись его пути была наиболее достоверной. Сразу фиксировать выбор направления или дать угрю освоиться в новой обстановке? В какой момент или отрезок времени испытуемый навигатор проявит самую уверенную ориентацию? Для ответа на эти вопросы провели несколько опытов.

С момента запуска угря в лабиринт счетчик регистрировал частоту его появления на каждой из трех осей и через каждые 5 минут делалась отметка времени. Угорь в лабиринте двигался непрерывно до «ночной» остановки на полчаса, наступающей у разных угрей в разное время. Десятки тысяч опытов помогли установить, что уже за первые пять минут пребывания в лабиринте угорь четко ориентируется по оси запад — восток. Затем это преимущественное направление сглаживается, теряется. Вероятно, угорь сначала «определяется» по магнитному полю Земли, потом ведет себя сообразно новой обстановке:

что-то запоминает и к чему-то привыкает. Если действительно магнитное поле Земли влияет на поведение угря в лабиринте (и в природе), то что же происходит с ним в отсутствие магнитного поля?

Для компенсации геомагнитного поля лабиринт-аквариум с испытуемыми рыбами ставили в деревянный каркас, обмотанный медным проводом (кольца Гельмгольца). Проходя через обмотки такой «катушки», электрический ток создавал индуцированное магнитное поле. Причем электрический ток пропускали таким образом, чтобы индуцированное магнитное поле было обратным магнитному полю Земли. Так достигалась компенсация. Кроме того, условия эксперимента позволяли создавать отдельно горизонтальную и вертикальную составляющие геомагнитного поля. В обоих вариантах опыта — под действием магнитного поля Земли, т. е. в естественных условиях и без него — манипуляции с рыбами были одни и те же. Как только угорь появлялся в лабиринте, в течение первых пяти минут фиксировались его заплывы во все каналы. Для этого применяли специально разработанные приемы подсчета, использующие современные методы биномиального распределения случайных величин. Каждый цикл измерений проводился с 24 различными особями.

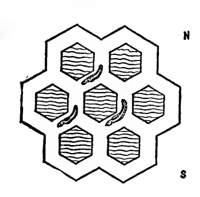


Рис. 58. Аквариум-лабиринт для исследования навигационных способностей угрей

Результаты экспериментов показали, что без магнитного поля Земли вероятность появления угрей на всех осях примерно одинакова, в то время как в магнитном поле Земли, несмотря на симметричность лабиринта по отношению к осям, число перемещений угрей в направлении северо-восток — юго-запад значительно превышает среднюю вероятность их перемещений в других направлениях. Достоверность такого превышения равняется 95%. Одновременно можно заметить, что частота появления угрей в направлении северо-запад и юго-восток также значительно отклоняется от вероятности, на этот раз уже в сторону уменьшения. Эти факты свидетельствуют о некоторой неравноценности для угрей направле-

ний северо-восток — юго-запад и северо-запад — юго-восток. Можно сказать, что (с достоверностью 95%) угри выбирают в симметричном лабиринте направление северо-восток — юго-запад и избегают направления юго-восток — северо-запад. О том, что неравноценность направлений обусловлена магнитным полем Земли, свидетельствует полное отсутствие направленного движения угря в условиях компенсации магнитного поля: все направления относительно стран света в этом случае для угрей становятся безразличными. Следовательно, магнитное поле Земли играет важную роль в ориентации европейского угря в океане. Это будто бы достаточно интересное утверждение ставит, однако, в свою очередь множество других вопросов. Например, если рыба чувствует магнитное поле, то какие два близких значения напряженности и направления силового поля она способна воспринимать как разные? Другими словами, различает ли европейский угорь географические широты по их геомагнитным характеристикам?

Одинаковые опыты, проведенные в Калининграде и Ленинграде, показали, что рыба способна ввести «поправку на широту местности». В Калининграде угри предпочитали путь с северо-востока на юго-запад, а в Ленинграде упорно ориентировались в направлении северо-северо-восток — юго-юго-запад. Почему удается рыбе сохранить столь сложный стереотип поведения? По-видимому, угорь, как опытный навигатор, обладает специфической компасной системой. И совершенно естественным выглядит стремление выбрать преимущественное направление с северо-востока на юго-запад, совпадающее с направлением миграции в сторону Саргассова моря.

Удивительно, что эта способность угрей четко выражается в том возрасте, когда никаких миграций в Саргассово море они еще не совершают. Вероятно, здесь можно говорить о врожденной и генетически закрепленной способности к ориентации в магнитном поле Земли, передающейся от одного поколения угрей к другому.

На широте Калининграда были поставлены два эксперимента, которые должны хотя бы приблизительно ответить на такие вопросы: как влияет на ориентацию угря в магнитном поле время года, время суток, температура воды и растворенные в воде вещества? Одинаково ли точно «определяются» голодные и сытые особи?

Опыты проводились в естественной среде (Куршская коса) и в лаборатории. Казалось, что разные условия должны повлиять на ориентирование угрей в магнитном поле Земли, но наблюдения этого не подтвердили: ничто

не мешает компасному чутью упрямого путешественника. Но если у животного, рыбы или птицы есть компасное чутье, то должно быть, несомненно, и ощущение времени: ведь оба фактора (ориентация во времени и пространстве) неразрывно связаны. Возникает вопрос: не связаны ли двигательная активность угря и ее цикличность с суточными вариациями геомагнитного поля?

Для того чтобы ответить на этот вопрос, в опытах была сделана попытка выявить ритмы двигательной активности. В течение суток отмечались периоды бодрствования, сна, активного движения. Угрей запускали в лабиринт первые пять минут каждого часа и регистрировали все движения за эти пять минут. Спустя три дня такой опыт повторили и по результатам визуальных наблюдений построили график двигательной активности. Сравнивая поведение рыбы за несколько суток, можно заметить определенные ритмы с периодом в одни сутки. Существование суточного цикла — это прямое свидетельство того, что природа снабдила угря каким-то пока неизвестным «часовым механизмом». Вместе с тем никакой зависимости между суточными вариациями земного магнитного поля и двигательной активностью угря обнаружено не было. Таким образом, складывается впечатление, что угри имеют все, что необходимо моряку в океане,— магнитный компас и часы.

Как видит читатель, проблема навигации животных не очень балует исследователей уверенными критериями, но от этого она не становится менее привлекательной. И попытка решить эту проблему на основе изучения геофизических полей может дать совершенно неожиданные результаты.

Три экспедиции в Северную Атлантику

I. Тайна нерестилищ

О чем спорили ученые

Январь 1938 года. Три часа дня, а в заиндевевшие окна Полярного научного института рыбного хозяйства и океанографии глядит темнота мурманской ночи. Идет заседание ученого совета. Старый профессор М. П. Сомов заканчивал доклад об итогах наших сельдяных исследований.

— Несколько лет мы изучаем мурманскую сельдь в Баренцевом море. Научились промышлять ее, кое-что узнали о ее жизни. Знаем, что это многочисленные мелкие молодые сельди, не старше пяти-шести лет. Значит, они еще не созрели, чтобы метать икру. Более старших сельдей в Баренцевом море не встречается. Откуда же приходит сюда эта масса молодых сельдей? А главное — куда деваются взрослые сельди? Ведь не умирают же они в шестилетнем возрасте! Куда-то они уходят, где-то продолжают расти, где-то потом мечут икру. А где все это происходит — мы не знаем. Не зная же всей жизни этих сельдей, нельзя наладить разумный и широкий их промысел. Ведь ловить следует в первую очередь не мелких молодых сельдей, а крупных, более старших рыб, которые уже стали метать икру. Они жирнее и вкуснее. Значит, надо найти места обитания крупных сельдей, разыскать их нерестилища *. В этом — ключ, который позволит нам проследить всю жизнь, все пути мурманской сельди.

Куда же направить поиски?

Разгорелись споры. И не мудрено. О местах икрометания мурманской сельди у ихтиологов тогда существовали

---

* Нерестилища — места размножения, икрометания рыб.

разные предположения — еще слабо обоснованные, а потому вызывавшие бесконечные дискуссии. Одни считали, что мурманская сельдь нарождается на уже известных науке нерестилищах у юго-западных берегов Норвегии (в районе Бергена). Другие настаивали, что искать надо в Баренцевом море. Последней точки зрения придерживался и сам докладчик.

Мы с Ю. Ю. Марти и моим другом Г. В. Болдовским давно ломали над этим голову. Много лет изучали Баренцево море. Тысячи проб планктона из всех его районов прошли через наши руки. И ни в одной из них не оказывалось недавно выклюнувшихся личинок сельди.

Искали мы икринки сельди и в желудках пикш. Эти крупные рыбы — родственницы трески — известны как пожирательницы икры, откладываемой другими рыбами на дно. Но и в желудках пикши икринок сельди никогда не оказывалось.

Мы понимали также, что и низкая температура придонных слоев воды Баренцева моря не подходит для икрометания сельди.

Нам было ясно, что нерестилища мурманской сельди мы ищем не там, где надо, и, чем больше раздумывали над картой, тем чаще глаза наши устремлялись на северо-западное побережье Норвегии — к Лофотенским островам. Именно здесь раздваивается мощное теплое Северо-атлантическое течение. Его правая часть, называемая Нордкапской струей, вливается в Баренцево море. Здесь, у Лофотен, ранней весной собираются и выметывают икру огромные стада баренцевоморской трески и пикши. Отсюда молодь этих рыб вносится в Баренцево море, где и растет. Не мечет ли здесь икру и мурманская сельдь? Условия для ее икрометания в этом месте несомненно подходящие. К тому же ученые установили, что какие-то сельди у Лофотен размножаются. Еще в 1934 году норвежский ученый Свен Руннстрем обнаружил здесь личинок сельди на ранних стадиях развития.

В 1934 и 1935 годах советский ихтиолог М. И. Рыженко на корабле «Николай Книпович» также собрал здесь около сотни личинок сельди. На основании своих находок Рыженко считал несомненным, что у Лофотенских островов нерестится мурманская сельдь. Об этом же предположительно писал и другой советский ихтиолог — Т. С. Расс. Мы были с ними вполне согласны. По нашему мнению, надо было тщательно обследовать район северо-западных берегов Скандинавии в апреле. Позднее личинок там могло не оказаться: основная их масса была бы унесена течением.

Спорили на ученом совете долго: ведь от результатов этих споров зависел успех будущих исследований. Решающее слово оставалось за Михаилом Павловичем.

— Вы меня еще не убедили,— сказал он, обращаясь к нам с Юлием Юльевичем,— но поколебали. Готовьтесь к лофотенскому рейсу.

В решении ученого совета было записано: «Послать в апреле сего года научно-исследовательское судно «Персей» в район северо-западной Норвегии для обследования этого района и поисков мест размножения мурманской сельди. Начальником экспедиции назначить ...»

Дальше стояла моя фамилия.

На «Персее»

Итак, 1 апреля 1938 года Мурманск остался позади. Весной еще и не пахнет. От Баренцева моря навстречу «Персею» мчатся низкие, темные тучи. Штормовой норд-ост залепляет лицо снегом. Иногда видимость улучшается, и между снеговыми зарядами мелькают берега Кольского залива с силуэтами заснеженных гор. Время от времени, расходясь с нами левым бортом, нас минуют встречные суда. При такой плохой видимости двигаться приходится очень осторожно. А снег все метет и метет.

Быстро смеркается. Мерно подрагивает под ногами палуба. «Персей» движется навстречу грозным апрельским штормам. Справляться с ними нам предстоит лишь собственными силами.

Нас 34 человека. Из них 24 человека судовой команды и 10 научных работников с лаборантами.

«Персей» — заслуженное научное судно водоизмещением 550 тонн, длиной 41 метр и шириной 8 метров. Попыхивая дымком и постукивая паровой машиной, он ходит не торопясь, отмеривая по 5—7 узлов (9—12 километров в час). В его габариты вмещались жилые каюты, кают-компания, камбуз, трюм и даже пять лабораторий. Это было очень удобное судно. Недаром его достраивали и оборудовали в 1922 году энтузиасты-ученые под непосредственным руководством директора Плавучего морского института профессора коммуниста Ивана Илларионовича Месяцева. Декрет о создании этого института был подписан В. И. Лениным 10 марта 1921 года. Новый деревянный корпус недостроенной зверобойной шхуны в Лайском доке Архангельска — вот все, чем располагали тогда И. И. Месяцев и его соратники. Ученые, превра-

тившиеся в те дни в кораблестроителей, поставили в этот корпус машину, винт, трубу, гудок, иллюминаторы и прочие необходимые части корабля. Все это они отыскивали на корабельном «кладбище», оставшемся под Архангельском после разгрома интервентов. На большой трубе судна был нарисован вымпел — созвездие Персея на синем фоне. Во всем чувствовалась любовь моряков-ученых к своему кораблю: ведь это было первое морское научно-исследовательское судно Страны Советов *.

С того времени на «Персее» были проведены десятки научных экспедиций. Маршруты корабля проходили в Баренцевом, Белом, Карском, Норвежском, Гренланд-

ском морях. Крупнейшие советские океанографы, гидробиологи, ихтиологи и ученые других специальностей участвовали в этих экспедициях, учились здесь и получали опыт исследований. Одну за другой открывали они тайны строения и жизни северных морей.

Все мы знали славную историю нашего корабля и крепко держались сложившейся на нем традиции — выполнить все задуманное и не отступать ни перед чем...

Итак, «Персей» вышел в свой шестьдесят седьмой рейс. Найдя относительное затишье на левом крыле мостика, я обдумывал детали нашей экспедиции. Хлопает дверь рубки, и ко мне подходит капитан Константин Казимирович Рехенбарх.

Чем дольше мы плаваем с Казимировичем, тем больше он мне нравится. В морских экспедициях опасные случаи — не редкость. Но чем серьезнее опасность, тем спокойнее на вид Казимирович.

«Трудноватая будет история,— задумчиво говорит Казимирович.— Апрель — месяц штормовой, а работа задумана основательная».

Это понятно нам обоим. Работа действительно предстоит трудная.

Участники экспедиции разошлись по каютам и лабораториям. Надо устраиваться перед тяжелым рейсом. Отдан приказ — привести в рабочий порядок приборы и оборудование, закрепить, принайтовить их. Во время штормовой качки оживают все предметы.

На присыпанной снегом палубе лаборанты Павел Рюмин и Леонид Каликин. Вместе с боцманом Андреем они

---

* История постройки «Персея» и его самые первые рейсы описаны в книге В. А. Васнецова «Под звездным флагом «Персея»» (Гидрометеоиздат, 1974).

хлопочут возле большого дночерпателя, старательно привязывая его к шлюпбалке.

Дночерпатель — это большой металлический прибор для взятия проб морского грунта с населяющими его живыми организмами. Весит он почти центнер. Сорвется в шторм такая «игрушка» с места и превратится в дикого, разъяренного зверя.

Леонид и Павел затягивают дночерпатель прочными канатными узлами. Оба они плечистые, крепкие, выносливые, решительные. На них можно смело положиться в экспедиции.

Боцман — человек недюжинной силы. Он проверяет каждый узел, затянутый лаборантами. Если он не в состоянии растянуть узел, то и волна его не осилит.

У правого борта закрепляет траловые доски наш тралмейстер Василий Лукьянов. Этим тралом ловят рыбу, которая держится в придонных слоях воды. Он устроен в виде огромного сетного мешка, по бокам которого отходит два сетных крыла. К каждому крылу прикреплена тяжелая траловая доска, сделанная из дерева и окованная железом. Действуют эти доски по принципу бумажного змея. От доски к кораблю тянется стальной трос-ваер. Когда движущееся судно влечет за собой спущенный в воду трал, доски под напором воды расходятся в стороны, растягивая крылья трала и широко открывая для рыбы вход в трал. Работа с тралом была очень трудна, тем более что на старике «Персее» почти не было никакой механизации, какая есть для этого на современных траулерах.

Задачей двух наших гидрологов — Ростислава Лагранжа и Вячеслава Гринкевича — было измерять морскую глубину, температуру воды, брать пробы морской воды для ее анализа, а в некоторых местах определять скорости и направление морских течений.

Теперь, чтобы измерить глубину, достаточно нажать пальцем на кнопку эхолота. Мгновенно промчавшийся вниз от корабля и вернувшийся назад от дна ультразвук немедленно и точно покажет глубину места. Тогда, в 1938 году, таких приборов у нас еще не было; приходилось опускать за борт тяжелый лот на стальном тросике. Обратно лот выбирали электролебедкой. Затем брались за батометры. Батометры — это полые металлические цилиндры с кранами. Снаружи к ним приделаны особые глубоководные термометры.

Опустив батометры на нужную глубину, делают десятиминутную выдержку, а затем посылают по тросику особый грузик, называемый «почтальоном». Батометры пере-

вертываются, закрывая заполнившиеся водой цилиндры. Подняв батометры на палубу, записывают показания термометров, а гидрохимик Маша Перцева забирает из цилиндров через краны пробы воды с различных глубин. В этих пробах Маша будет определять соленость воды, содержание кислорода и веществ, необходимых для развития растительной жизни (соединений фосфора, азота и других). По всем этим данным можно будет судить, благоприятны ли на той или иной глубине условия для жизни вообще и для развития и питания рыбы в частности.

Изучать планктон будут Татьяна Мосенцова и Леонид Каликин. Они планктонологи — специалисты по изучению планктона — своеобразного мира мелких и мельчайших растений и животных, населяющих толщу морских вод.

Фитопланктон — это мельчайшие одноклеточные водоросли. В банке с водой (если смотреть на них простым глазом) они кажутся лишь тончайшей зеленоватой или желтоватой мутью. Зато под микроскопом, при увеличении в сотни раз, видна вся сложность и красота их строения.

Животные планктона (зоопланктон) обычно тоже мелки. Наиболее многочисленны, пожалуй, мелкие рачки. Из них в северных морях особенно много веслоногих рачков — калянусов. Это излюбленная пища сельди, мойвы и многих других рыб.

Исследователи улавливают планктон специальными сетками, сшитыми из искусственного шелка в виде большого конуса. Опустив в море такую сетку на нужную глубину, ее медленно тащат при помощи тросика наверх широким отверстием вперед. Вода уходит сквозь шелк, а планктон отфильтровывается.

Такими же сетками пользуются для лова икринок, личинок и мальков рыб. Делают их крупнее и из более редкой ткани. Называют их обычно икорными. Мелких рыбешек мы старались улавливать рингтралом. Это большая мелкоячейная коническая сетка, надетая широким концом на металлический круг диаметром до трех метров.

Содержимое стаканчика планктонной сети сливают в баночку, где прозрачные или ярко окрашенные существа прыгали, махали крохотными плавничками и ножками. Просчитав их под бинокуляром, можно точно сказать: сколько этих животных содержится в одном кубическом метре морской воды и какова их кормовая ценность.

Достать животных с морского дна труднее. Глубина погречески — «бенталь». Отсюда животные, живущие у дна, на дне или зарывающиеся в грунт, называются бентосом.

Взятием проб бентоса «по совместительству» занимается знакомый нам ихтиолог Павел. Кроме дночерпателя он пользовался для этого тралом Сигеби — сетным мешком, который прикреплен к особой раме, установленной на металлических полозьях. Протаскивая за судном по грунту этот трал или похожую на него трехугольную драгу, улавливают моллюсков, крабов, морских ежей, звезд, голотурий, актиний и многих других животных бентоса. Этими же орудиями мы пытались поймать и икру сельди. Делали мы это потому, что икра сельди не плавает в воде, а лежит на дне, приклеившись к грунту, водорослям и камням.

Павлу и двум другим нашим ихтиологам — Марусе и Нине — дела хватало по горло. Распределить все уловы по видам рыб, измерить, взвесить, вскрыть, взять чешую или слуховые косточки (отолиты) для определения возраста * — все это трудоемкая, кропотливая работа.

Я называю большинство участников нашей экспедиции просто по именам потому, что это были молодые люди. Все они были энтузиастами своего дела — и это сливало их в жизнерадостный, волевой коллектив. С таким коллективом не страшны были никакие трудности.

В Баренцевом море

Море встретило нас пятибалльной волной. Оно еще не утихло после шторма. «Персей» нес на себе полный запас угля, питьевой воды, продуктов, оборудования. Тяжело нагруженный, он сильно зарывался носом в волны. Морская вода обрушивалась на борт с носа, обдавала с обеих сторон лабораторную носовую постройку и двумя мощными пенистыми потоками растекалась по палубе. Отсюда она исчезала в бортовые клюзы, уступая место новой волне. Ходить по палубе надо было умеючи, осторожно. Окунуться в холодную воду с температурой около двух градусов не очень большое удовольствие. Да и сильный удар набегающей волны может сбить человека с ног.

Ветер ослабел до четырех баллов. Ночью прошли мимо мыса Цып-Наволок, где ярко горел маяк. Скоро остался позади и этот последний форпост Советского Союза — полуостров Рыбачий. «Персей» вышел в международные воды и взял курс на северо-запад.

---

* На чешуе и на многих костях рыбы есть годовые кольца, почти такие же, как на спиле древесного ствола. По этим кольцам и определяют возраст рыбы.

Перед нами расстилалось Баренцево море. Много лет я отдал его изучению и до сих пор считаю его одним из самых интересных морей, омывающих границы нашей страны. Это — море контрастов. Теплые воды Атлантики, приносимые течением Гольфстрим и таящие в себе немало различных тепловодных животных, встречаются здесь с холодными водами Арктики, в которых плавают айсберги и льды с бродящими по ним белыми медведями. Это — царство сложных морских течений и гигантских водоворотов. Богатейшие промысловые отмели граничат здесь с почти безжизненными участками моря.

Десятками лет русские ученые вписывали страницу за
340 страницей в книгу знаний о Баренцевом море. Картина становилась все полнее. Перед первыми исследователями туманилось незнакомое море, холодное, бурное, ледовитое, с пустынными берегами, грозящими цингой и смертью.

С 1896 по 1908 год это море исследовала экспедиция под руководством известного океанографа и зоолога Н. М. Книповича. В советское время здесь много лет плавали наши ученые на «Персее» и других научных кораблях. Море становилось все известнее, понятнее. Теперь мы знаем, что глубина его почти нигде не превышает 400 метров. Рельеф его дна довольно сложен. Мощная струя теплого течения вливается в Баренцево море с запада. Разветвляясь во многих направлениях, она отепляет его, оттесняя летом плавучие льды к северу. Благодаря столкновениям морских течений и неровностям дна создаются хорошие условия для жизни различных водных животных, в частности рыб.

Слева от курса «Персея» вдалеке показались берега с темными обрывами скал и белыми наносами снега. Это — Норвегия, суровая страна рыбаков и смелых мореплавателей, родина известных всему миру полярных исследователей — Фритьофа Нансена, Руала Амундсена, Отто Свердрупа. Узкой прибрежной полосой она простирается от Баренцева до Северного моря, почти на 2 тысячи километров с северо-востока на юго-запад. Мы проходили мимо полуострова Варангер. На его восточной оконечности был виден городок Вардё. На пригорке в бинокль можно было разглядеть стены древней крепости Вардё-Хуз.

Недалеко от Вардё над морем кружилась большая стая чаек. Под ними то и дело высовывались морды четырех небольших китов-бутылконосов (их называют также клюворылами) по 6—7 метров длиной. Интересно, что там происходит?

«Персей» остановился. Выбросили за борт рингтрал и

выпустили метров пятьдесят привязанного к нему тросика. «Персей» снова дал ход и, качаясь между волнами, направился к чайкам. Ловким маневром Казимирович обогнул стаю чаек по полукругу и протащил в этом месте рингтрал. С носа было видно, как во все стороны от нас разбегались большие стаи мелких рыбок.

Подняли на палубу рингтрал. В нем билось около десятка узких остромордых рыбок длиной 15—20 сантиметров. Это была мойва — многочисленная рыба северных морей, излюбленная пища трески и некоторых других рыб. Летом и осенью, питаясь планктоном, она широко разбредается по морю, доходя до Шпицбергена на северо-западе и до Новой Земли на востоке. Достигнув двух-трехлетнего воз-
раста, мойва подходит отсюда в начале весны огромными стаями к берегам Мурмана и Норвегии на нерест. Недалеко от берегов она опускается ко дну, где на глубинах 50—100 метров выметывает клейкую икру, которая прикрепляется к грунту. Каждая самка выметывает около десяти тысяч икринок. Самцы выпускают молоки, и икра начинает развиваться. Большинство мойвы после нереста погибает, а оставшиеся в живых постепенно возвращаются к местам откорма. Мойву, идущую на нерест, обычно преследуют большие косяки трески, которую рыбаки так и называют — «мойвенная». Оттесняемые снизу тресковыми косяками, стаи мойвы поднимаются ближе к поверхности, где на них набрасываются дельфины, бутылконосы и другие мелкие киты. Они пируют, собравшись в стаи, и вносят сумятицу в стаи мойвы. Спасаясь, рыбешки бросаются еще ближе к поверхности, где их уже поджидают чайки. Птицы наедаются до того, что порой с трудом взлетают с воды.

Стало вечереть. Северный ветер снова усилился до пятишести баллов. Несмотря на это, из всех заливчиков Варангера выбегали небольшие, но быстроходные норвежские боты. Прыгая с волны на волну, они мчались, окутанные облаками брызг и пены. К северу от нас виднелись буи рыболовных ярусов. Ярус — это растянувшаяся на дватри километра веревка, к которой на подводках привязаны наживленные крючки. С пойманной треской, палтусами и прочей рыбой возвратятся рыбаки домой, а снова наживленные ярусы спустят на дно фирмаркенской отмели.

Многие ботики проскальзывают совсем близко от нас. «Персей» здесь хорошо известен.

— Виват «Пиерсей»! Виват Совиет! — приветствуют нас статные белокурые рыбаки в свитерах, непромокаемых комбинезонах и вязаных шапках.

Норвегия — это страна рыбаков. Она расположена возле трех богатых рыбой морей, да к тому же близ мест икрометания трески и сельди. Массовые стаи рыбы подходят, как говорят сами норвежцы, к крыльцу их дома.

Утром 5 апреля мы миновали самую северную оконечность Европы — норвежский остров Магерё. Обогнув мыс Нордкап на этом острове, «Персей» повернул на юго-запад и продолжал путь вдоль берегов Норвегии. Баренцево море осталось за кормой. Мы вступили в Норвежское море.

Мыс Нордкап виднелся на юге от нашего курса сквозь снежные заряды и полосы тумана. То были голые, почти отвесные стены с вертикальными складками и расселинами, а под обрывом — маленькая полоска каменистой россыпи и бушующие волны двух морей.

Остров Магерё похож на гигантский плоский стол, поставленный в морские воды. На краю стола-великана, у самого обрыва Нордкапа, на высоте нескольких сот метров над уровнем моря приютился ярко раскрашенный спичечный коробок — здание гостиницы. К нему от прибрежных камней ведет длинная тропа с железными поручнями, без которых подняться на такую кручу невозможно. В хорошую погоду оттуда, конечно, открывается сказочный вид. Туристов сюда манит и честолюбивое желание посетить самую северную точку Европы, и жажда сильных ощущений.

Треска

Итак, наш путь лег на юго-запад, параллельно виднеющимся вдали берегам Норвегии. Мимо многочисленных островов и фиордов «Персей» шел к южной части Лофотенских островов. Пять суток двигался он в этом направлении, раскачиваясь на пенистых штормовых волнах. Выдавались редкие часы, когда стихало, а сменившийся ветер еще не нагуливал новую волну. В такие часы мы делали научные станции со всем комплексом исследований. Станции мы обычно располагали на карте по прямой линии, поперек струй течений. Такая линия станций называется разрезом.

Чем дальше на юго-запад уходил «Персей», тем меньше снега было на береговых обрывах. Температура воды постепенно повышалась, а в планктонные сетки попадалось все больше маленьких полуторамиллиметровых прозрачных шариков. Это были икринки трески. Ихтиологи внимательно рассматривали их в бинокуляр. Внутри

каждой икринки довольно хорошо был виден уже развитый, свернувшийся вокруг желтка зародыш рыбки. Можно было определить, что эти икринки выметаны дней двадцать назад.

В середине марта у Лофотенских островов и вдоль отмелей северо-западного побережья Норвегии нерестились огромные стаи трески. Они приходят сюда из Баренцева моря.

Треска — очень плодовитая рыба. Каждая самка выметывает за сезон в среднем до девяти миллионов икринок. Икринки не прилипают ко дну, как у мойвы, а свободно плавают в толще воды, пока из них не выклевываются личинки. Увлекаемые морским течением, беззащитные икринки и личинки встречаются на своем пути со многими неблагоприятными условиями и врагами. Гибель их очень велика. Можно считать, что до состояния взрослой половозрелой рыбы из нескольких миллионов икринок доживает только одна. Не будь треска столь плодовитой, эта рыба не могла бы противостоять многочисленным невзгодам и врагам ее икры и личинок.

Мы двигались навстречу Нордкапскому течению — ответвлению Гольфстрима. В сравнительно теплых водах этого течения неслись несметные количества развивающихся икринок трески. Обогнув мыс Нордкап, они попадут в Баренцево море. Уцелевшие из них превратятся по дороге в молодых рыбешек. Расходящиеся струи течения широко разнесут тресковую молодь по южной части Баренцева моря. Эта часть крайне богата мелкими рачками и другими мелкими животными планктона, которыми так любит питаться молодь трески. Здесь для нее — своеобразный «детский сад», где она и подрастает. Выросшая треска странствует по Баренцеву морю, питаясь сельдью, мойвой, сайкой и другими рыбами. Поедает она и многочисленных рачков, моллюсков и прочих обитателей дна мелководных склонов.

Так продолжается 7—10 лет, пока треска не вырастет в длину до 60—90 сантиметров. Тогда треске приходит время метать икру, и стаи ее в конце зимы отправляются в далекий путь — к местам рождения — на лофотенские нерестилища. После икрометания она снова возвращается на откорм в Баренцево море. Далее это повторяется ежегодно до конца ее жизни.

Центр потока тресковых икринок, по нашим определениям, находился недалеко от острова Аннё — самого северного из архипелага Вестеролен. Мы подошли сюда после полудня и остановились для очередной научной

станции. Погода ненадолго улучшилась. Берега высились остроконечными, покрытыми снегом горами. Над ними клубились облака. У подножия гор на низеньком мысочке Аннёнес виднелся высокий маяк. За ним раскинулся поселок. Мимо нас прошли два рыболовных бота. Молодые сероглазые рыбаки внимательно смотрели, как работают с научными приборами их советские сверстники. Потом махали нам шапками, улыбаясь и показывая на наш красный советский флаг.

В море виднелось еще несколько таких суденышек. Мы направились туда и в свою очередь наблюдали, как норвежцы проверяют свои рыболовные ярусы. Облюбовали один ботик, который наши матросы ласково называли петушком. Постукивая мотором, петушок медленно двигался вдоль выходившей из воды веревки яруса. При помощи барабана миниатюрной приводной лебедочки веревку подматывал к борту старик норвежец. Одной рукой он управлял лебедочкой, а в другой держал острый багорчик.

К веревке через каждые несколько метров были привязаны поводцы с крючками на конце. Крючки были наживлены кусками сельди или мойвы. На большинстве крючков висели крупные головастые трески с зеленовато-коричневой пятнистой спиной и белым брюхом. Они извивались и колотили хвостом. Старик ловко поддевал их багорчиком и отбрасывал в ботик. Двое молодых рыбаков снимали рыбин с крючков и укладывали в стоявшие на палубе ящики. Один из парней поднял на руках и показал нам огромную треску, ростом почти с него.

Голодная треска, возвращающаяся после нереста от Лофотен на откорм в Баренцево море, жадно хватает приманку.

Живет треска довольно долго. Изредка попадаются двадцатичетырехлетние рыбы. Наши тральщики ловят в Баренцевом море главным образом треску в возрасте от четырех до восьми лет.

Научные работники Полярного института много лет следят за передвижениями тресковых стад по морю. К жаберным крышкам («щечкам») выловленных рыб прикрепляют пронумерованную металлическую метку, а затем помеченных рыб тотчас выпускают обратно в море. Все тральщики знают эти метки. Поймав помеченную треску, они возвращают метку в институт с точным указанием, когда и где была вторично (то есть после мечения) поймана треска с этой меткой. Много меток возвращают и норвежские рыбаки. В годы нашей экспедиции ежегодно метилось

до пяти тысяч рыб. Таким способом были изучены пути миграций (передвижений) косяков трески в Баренцевом море. Зарубежные ученые также метят большое количество рыб.

У берегов Норвегии

Ночь выдалась необычно штилевая, холодная. На севере вспыхивали и перебегали по небу зеленоватые сполохи. Они были не так ярки, как бывают зимой, но все же освещали наш корабль и лица стоявших на палубе странными, блуждающими отсветами. Море дышало зыбью. С юга, левее носа «Персея», спокойно светил месяц.

Но передышка была недолгой. К утру снова бушевал девятибалльный северный шторм с крупой и снегом.

К вечеру восьмого апреля мы приблизились к острову Рёст, самому южному из Лофотенского архипелага. Это было место крайней научной станции намеченного нами разреза. Здесь мы вышли из района так называемой континентальной отмели и находились над океаническими глубинами. До морского дна было свыше двух километров.

Лишь только мы подошли к месту станции, ветер неожиданно стих. По морю в двух направлениях — с запада и с севера — ходила огромная зыбь. Поверхность моря была покрыта беспорядочно двигавшимися горами и оврагами. «Персея» бросало самым неожиданным образом. При такой болтанке пришлось делать станцию. Станция находилась в основном потоке Гольфстрима.

— Шесть с половиной градусов, шесть с половиной градусов,— многозначительно повторял Ростислав.

До такой температуры была прогрета значительная толща воды. Мы искали эту температуру. На основании предыдущих исследований мы надеялись обнаружть именно в такой воде нерестилища сельди.

Начали поиски. Направились к острову Рёст, выходя со станциями на лофотенское мелководье. Где-то здесь, по нашим предположениям, прятались несметные количества сельдяных икринок, а на отмелях, может быть, еще продолжался нерест сельди. Но как найти все это?

— Спуститься бы до самого дна,— задумчиво говорил Казимирович.— А еще лучше просветить бы всю воду каким-нибудь особенным лучом. А тут пляши! — показывал он на бурлящее море *.

* Этими мыслями наш капитан предвосхитил будущее. Теперь у ученых для изучения морских глубин есть ультразвуковые локационные приборы, подводные телевизоры, гидростаты, батискафы и специальные подводные лодки. В 1938 году ничего этого на «Персее» еще не было.

Первый разрез на остров Рёст нас не порадовал. Ни икринок, ни личинок сельди здесь не оказалось — в мальковые сетки попадали лишь икринки и личинки трески и пикши. Тралы приносили различных донных животных. Во все стороны торчали иглы крупных тепловодных морских ежей, извивались щупальца офиур-горгон, лежали раковины моллюсков. Но ни единой селедочки не трепыхалось в кутке трала.

Мало было и других рыб. Лишь в одном месте трал принес с глубины около 250 метров изрядную кучу морских окуней. Крупные — до 50—70 сантиметров длиной — оранжево-красные рыбы бились на палубе, растопырив колючие плавники. Тела их безобразно раздулись, большие глаза выкатились из орбит. Из огромных пастей торчали вывернувшиеся наружу желудки.

Взрослые морские окуни обычно живут на глубине не меньше двухсот пятидесяти — трехсот метров. Попав в трал, они не могут вынести быстрого подъема к поверхности моря. Это вполне понятно: там, на глубине, окружающее их давление составляет двадцать пять — тридцать атмосфер, а в течение немногих минут, пока поднимается трал, оно стремительно уменьшается до одной атмосферы. Газы, находящиеся в плавательном пузыре окуня под большим давлением на глубине, начинают расширяться, убивая рыбу и раздувая ее тело. Этим объясняется крайняя трудность изучения морских окуней.

Живые, неповрежденные окуни в руки исследователей почти не попадают. Поэтому метить этих рыб очень трудно.

Морской окунь относится к семейству скорпеновых рыб, растет медленно, размножаться начинает впервые лишь на десятом — одиннадцатом году жизни. В это время длина его тела достигает примерно 35 сантиметров, а вес — полукилограмма. Только к двадцати годам жизни он вырастает до длины более полуметра и веса свыше двух килограммов. Крупные окуни, пойманные нами у острова Рёст, были старше двадцати лет. Это были самки. Их объемистые ястыки * были полны маленькими сероватыми личинками. Морской окунь — рыба живородящая. У этих рыб выметываются в воду не икринки, а развившиеся личинки. Крупные самки отметывают до ста пятидесяти тысяч личинок и даже больше. Самки идут на нерестилища одни. Самцы не принимают участия в этом путешествии, а остаются на местах зимовок в западной части Баренцева моря.

* Ястыком называется яичник рыбы.

Туда же после вымета личинок возвращаются и самки, преодолев за оба конца путь примерно в тысячу километров.

Вечером 9 апреля снова бушевал юго-западный шторм с дождем и туманом. Мы все еще были недалеко от острова Рёст. Всю ночь «Персей» еле продвигался малым ходом против волны и ветра. Качка была отчаянная, но, измученные работой, люди спали крепко.

Разбудила нас тишина. Было утро. Качки и бросков не было. Прекратились и скрипучие вскрики переборок. Оказалось, что с рассветом Казимирович подошел к островам. Несмотря на дождь, он сумел определиться по расположению берегов, пройти в пролив и встать на якорь с северо-восточной стороны от острова Верё.

«Персей» покачивался на зыби, огибавшей остров. На берегу сквозь дымку дождя виднелись аккуратненькие домики, крытые черепицей. То были рыбацкие поселки. За время стоянки мы быстро привели в порядок машину, подняли якорь и снова вышли в открытое море.

Утром 11 апреля мы опять начали пересекать Лофотенскую отмель разрезом станций. Волна мешала работе. Люди промокли, измучились.

Два траления подряд не дали результатов. На третьем тралении вышла из строя паровая траловая лебедка. Начало уже смеркаться, когда судовые механики закончили ее ремонт.

Начало победы

К северо-востоку от нас промышляли семь иностранных траулеров. Они двигались хороводом вокруг светящегося буя с флагом. Значит, рыба там была. Но какая? Надо попробовать и нам.

Трал пошел на морское дно.

Мы находились против острова Вествогё, у края южной части лофотенского мелководья над глубинами около двухсот метров. Этот склон омывается Гольфстримом. Температура воды здесь около шести градусов. Здесь, именно здесь нужно искать нерестилища сельди!

Со спущенным в воду тралом мы направились к хороводу иностранных траулеров. Вошли в этот хоровод, прошли между ними. Отойдя немного от траулеров, мы с трудом подняли трал. Среди пойманных рыб лежало несколько крупных, похожих на треску, зеленовато-серых рыбин с белыми брюхами. У каждой на боку недалеко от головы было темное, почти черное пятно. Это были пикши. Пита-

ются они преимущественно бентосом, а часто пожирают икру, отложенную на дно другими рыбами.

— Вот пузатые-то,— говорит Маруся, ловко орудуя хирургическими ножницами, и вдруг вскрикивает: — Ой, что это? Ничего не понимаю. Вскрывала желудок, а попала, видно, в ястык. Полно икры.

— Давайте бинокуляр! Держите его крепче, чтобы не слетел на качке!

Сажусь, упираюсь ногами в стену и в шкапчик. Несколько человек держат бинокуляр. Кто-то для верности обхватывает меня за пояс. В дверях толпятся матросы. Как ни стараюсь я скрыть свое волнение, оно, видно, передается окружающим. Все напряженно молчат. Слышно только, как волны бьются в борт «Персея».

В такт качке под бинокуляром перекатываются крохотные шарики диаметром чуть больше полутора миллиметров. В икринках зародыши. Длина их примерно пять миллиметров. Они обвиты вокруг желтка. Желток расположен в икринке эксцентрично — ближе к одному полюсу. Желток зернистый. Сомнений нет.

— Друзья! — напрасно стараясь быть спокойным, говорю я.— В желудке пикши — икра сельди.

И вот словно взорвался паровой котел «Персея». Люди кричали, танцевали, пожимали друг другу руки. Павел, пританцовывая, бросился к двери, упал, вскочил, вылетел на палубу и помчался к мостику.

Через какие-нибудь секунды взревел торжествующий гудок «Персея». Из-за стекол рулевой рубки, широко улыбаясь, махал рукой Казимирович.

Да, это было начало победы. У всех пикш желудки буквально набиты сельдяной икрой. Икра свежая, только что проглоченная. Значит, нерестилище где-то рядом. Может быть, даже под нами. А в наши орудия лова икра не попадала, очевидно, потому, что на волне ее вымывало из сеток потоками воды. Личинки сельди находились на такой ступени развития, что будут выклевываться из икринок самое большее через два-три дня. Значит, в ближайшие дни они будут попадать в наши шелковые сетки. Тогда можно будет более или менее точно установить границы нерестилища и примерно определить его мощность.

Продолжать поиски! Дорог каждый день!

А на море уже ревел девятибалльный шторм с запада. Сегодня его предсказали норвежские радиостанции. Еле успели закрепить по-штормовому трал, как волны уже начали закатываться на палубу «Персея». Здесь же штор-

мовали немецкие траулеры, стараясь не отходить далеко от стоявшего на якоре буя. Возможно ближе к ним держались и мы, чтобы не потерять места, где нашли икру сельди.

Двое суток «Персей» прыгал, как необъезженный конь, среди пенистых гребней.

Рядом с нами штормовала стая чаек. Крупные белые и бурые птицы сидели на волнах, низко нагнувшись и выставив вперед клювы.

В районе промышляющих траулеров летало много глупышей. Это интереснейшие птицы из отряда буревестников. По строению головы и посадке туловища они напоминают голубя, только у них загнутый на конце крючком клюв, на верхней стороне которого выходят двумя трубочками ноздри.

Глупыши — жители открытого моря. Они постоянно держатся около рыболовных траулеров, поедая отбросы с этих судов.

Штормовой ветер не мешал оживленным полетам глупышей. Птицы почти не двигали крыльями, а планировали в вертикальных потоках воздуха, образующихся от ударов ветра о громады морских волн.

13 апреля шторм стал ослабевать. Мы приблизились к немецким траулерам, которые очень точно вытянулись по изобате, показывающей глубины 160—170 метров. Поверхность моря была еще хаотически взбудоражена. Все же мы спустили трал.

Три траления не принесли рыбы: видимо, из-за сильного волнения трал двигался в воде неправильно, и рыба в него не попадала. В кутке трала копошились только немногочисленные морские ежи, офиуры, крабы и другие придонные животные. Когда трал поднимали в четвертый раз, при рывке на большой волне снова сильно поломалась лебедка. Наконец, лебедку починили и на борт удалось вытащить только одну траловую доску. Все остальное — сам трал и вторая доска — осталось на острых камнях подводной отмели. Правда, у нас был запасный трал, но ...

— На волне лебедка больше не выдержит. А в третий раз ее не починишь! — мрачно произнес механик Максимов, поднявшись с палубы.

Настроение у всех было подавленное.

В это время на палубе появился, балансируя, Леонид. В одной руке у него была баночка, в другой — лупа.

— Взгляните, пожалуйста, что здесь такое? — приблизился он ко мне.— Это из планктонной сети. Только что взяли пробу.

Вот она — баночка. Прыгают рачки калянусы, сжимает и разжимает тело тепловодная сифонофора-физофора, плавают икринки трески и пикши... А это что? Прозрачная, как маленький червячок, личинка с желточным мешочком. На брюшке — черные пятнышки. Длина около 8 миллиметров. А вон еще и еще... Да их тут много! Конечно же, это личинки сельди.

— Друзья! — с волнением говорю я.— Из икры сельди начали выклевываться личинки. Постепенно они всплывают со дна в толщу воды. Будем их ловить и таким путем определим границы южной части нерестилища. Сделать это надо немедленно, в ближайшие дни.

— Почему только южной части? — спрашивает Маруся.— А как же северная?

— В северной части личинки вылупятся гораздо позже,— объясняю я.— Сейчас там еще, вероятно, происходит нерест. Там мы попытаемся наловить и самих сельдей, если Вася сумеет пустить дрифтерные сети.

Как велико нерестилище?

Итак, началась съемка нерестилища. По заранее намеченному маршруту мы переходили к заданным точкам. Пользуясь каждым затишным «окном» в беспросветных штормах, делали здесь научную станцию. На широкой площади, везде, где температура придонных слоев воды была выше шести градусов, личинки сельди попадались в шелковые сети то единицами, то сотнями. В первые дни они были очень маленькими, длиной по семь-восемь миллиметров. Попадались они большей частью в глубинных слоях воды. По данным поимки таких личинок можно точно установить места нерестилища, так как их еще не успело снести течением. Позднее стали попадаться личинки покрупнее — длиной до десяти-одиннадцати миллиметров. Наблюдая за такими подросшими личинками, можно было уже судить об их переносе морскими течениями.

Все данные о пойманных личинках сельди мы немедленно наносили на карту, которую вывешивали в кают-компании. У карты часто толпился народ.

— Вот это нерестилище! — удивлялись сотрудники.— Ширина от двадцати до пятидесяти километров. В длину мы его почти на двести километров промерили, а ему еще конца нет. Если б не эти проклятые шторма, оно как на ладошке было бы!

Уж эти шторма! Они дули словно с какой-то злобной настойчивостью и затихали только для того, чтобы тотчас взреветь снова. Часто, подойдя к месту станции, судно приходилось ставить носом на волну и болтаться здесь, выжидая, чтобы хоть немного ослабел ветер. Тогда выскакивали под дождь и снег на палубу брать пробы.

Обычно мы избегали делать станцию ночью. При большой волне и сильном дрейфе в темноте особенно возможны аварии и несчастные случаи, тем более когда люди измучены штормами и напряженной работой. Но в ночь на 17 апреля решили рискнуть: времени оставалось мало, а дела было еще очень много. «Персей» раскачивался на пятибалльной волне. По палубе, освещенной прожектором, перекатывалась вода.

Все шло благополучно, но под конец станции при спуске драги двадцать метров стального каната намотались на шейку судового винта. Машина застопорила и остановилась.

В это время с северо-запада налетел восьмибалльный ветер со снегом и крупой. В полной темноте, лишенный управления, «Персей» начал быстро дрейфовать на юг, где всего в пятнадцати милях от нас на прибрежных камнях неистовствовал прибой.

Раздался авральный сигнал.

— Послать самых сильных людей в машину! — командует Казимирович.

Скинув рубахи, силачи «Персея» пытались вручную буксовать машинный вал. Пробовали и паром, и опять вручную. В бесплодных усилиях прошло полчаса. А до берега оставалось девять-десять миль. Был еще шанс — паруса, но мы знали, как опасно прибегнуть к ним при таком шторме, да еще и в темноте. И паруса-то были довольно слабенькие. Прошло еще четверть часа, и в машинном помещении раздался громкий, дружный вскрик: «Пошла!» Еще через 10 минут машина вздохнула и заработала. Сначала она давала перебои, но мы сразу начали отходить от берегов, до которых оставалось лишь несколько миль.

Еще один разрез лег поперек материковой отмели у Вестерольс-фьорда. Но здесь личинок сельди было уже меньше. Попадались лишь единичные более крупные личинки. Видимо, их принесло сюда течение с юга. Почему же перестали попадаться маленькие личинки? То ли в этом месте уже нет нерестилищ, то ли нерест ближе к северу происходит позже? Придется ставить сети.

Мы стояли на крайней станции по разрезу от острова

Лангё, выйдя в район больших глубин. На корме о чем-то спорили гидрологи.

— Смотрите,— позвал меня Ростислав,— батометр по дну тащится: тросик дергается, а вытравили его пятьсот метров.

— Какое же тут дно? — До него здесь больше тысячи метров.

Берусь рукой за тросик. Отчетливо ощущаю рывки. Электрическая лебедка заработала. Вот уже батометр подходит к поверхности воды. Вдруг сильный всплеск — и рядом с батометром из воды выскакивает блестящая рыба. Кто же ее привязал к тросику под батометром? В несколько рук подхватываем рыбину и переваливаем ее через фальшборт на палубу. Это здоровенная сайда, красивая хищная рыба, родственница трески. На глубине пятисот метров она схватила пунду — килограммовый грузик, висящий на тросике под батометром. Войдя ей в рот, грузик вышел наружу через жабры и закрутился над головой рыбы. Сайда сидела, как на кукане.

— Длина ровно метр,— записывает Маруся, измерив рыбу.

Это очень крупная сайда. Ей больше двадцати лет. Обычно же в траловых уловах больше всего бывает 60—70-сантиметровой сайды возрастом от шести до восьми лет. Много сайды ловят у берегов Норвегии. Заходит она и к берегам Мурмана.

Желудок нашей сайды пуст, вывернут наизнанку: мы быстро подняли ее с глубины. Давление изменилось на 50 атмосфер, и с сайдой произошло то же самое, что бывает с морскими окунями.

Из сайды кок сварил отличную уху.

— Эх, вы, специалисты! — подтрунивали гидрологи над ихтиологами, хлебая уху.— Сетями рыбы поймать не можете, так нам приходится ее для вас батометрами ловить!..

Крупная сельдь

Мы продвинулись еще немного севернее, и вдруг свершилось чудо. Ветер ослабел до одного-двух баллов, волна спала. Легкая зыбь. Разве можно упустить такую погоду? Правда, норвежские станции предвещают на ночь юго-западный шторм.

«Персей» выходит к краю континентальной отмели. Измеряем глубину — более пятисот метров. Отступаем

на милю назад. Новое измерение — здесь всего сто девяносто метров. Значит, на протяжении мили глубина падает больше чем на триста метров. Вот это крутизна склона! Здесь дно обрывом уходит вниз на океанические глубины.

Берем пробы планктона. Он довольно богат. Копошатся рачки калянусы — любимая пища сельди. Мельчайших зеленоватых водорослей (фитопланктона) немного. По всем признакам сельдь здесь должна быть.

Вася с матросами спускает за борт двадцать пять соединенных воедино сетей. Верхними краями сети привязаны веревочными поводцами к пустым бочатам, которые служат поплавками. Нижними поводцами все сети прикреп-
лены к толстому пеньковому канату — вожаку. Он одновременно служит и главной опорой сетей, и их грузом. Один конец вожака закреплен на судне. Судно вместе с этим порядком сетей дрейфует по течению. Поэтому такие сети называются дрифтерными.

К сумеркам линия бочат растянулась перед носом «Персея» почти на километр.

Воздух был так прозрачен, что скалистые берега Норвегии казались рядом. А до них было километров тридцать. Скоро там замерцали маяки. Наступила ночь на двадцатое апреля.

— Норвежская станция Рёст еще раз настойчиво предупреждает о шторме,— сообщает появившийся Казимирович.

Выходим на палубу. На острой молодой волне в свете люстр «Персея» уже мелькают белые гребешки.

Казимирович дал сигнал подъема. Полусонные люди быстро надевали непромокаемую робу и выходили на палубу.

Ветер усиливался. Опытных рыбаков у нас не было, механизация выборки сетей была самая примитивная. Больше шести часов матросы и научные работники возились с сетями. Сначала из-за борта шли мелкоячейные сети. Рыбы в них не было. Задние — крупноячейные — сильно вытянулись при выборке и толстым жгутом обмотались вокруг каната — вожака. В них поблескивали рыбки. Над этими сетями вилась стая чаек и глупышей. Ныряя, они выхватывали из сетей рыб. Они расхитили у нас большую часть улова. На палубу попало лишь несколько штук сельдей. Их осторожно вырезали из лежавших на палубе сетей и отнесли в лабораторию. Это были первые сельди, пойманные нами в водах Атлантики.

«Персея» уже швыряло девятибалльным штормом.

В лаборатории на столе рядком лежали сельди — виновницы торжества. Около них возятся ихтиологи.

— Вот эти,— показывает Маруся,— длиной по двадцать четыре и двадцать пять сантиметров. Тут и самцы, и самки. Все текучие *. Им по пять-шесть лет. Они нерестятся впервые.

Очень интересно. Это как раз сельди того возраста и размера, в каком они исчезают из Баренцева моря. Вот где мы их нашли! Значит, они пришли из Баренцева моря и мечут икру в северной части нерестилища.

— А вот эта, смотрите, гораздо крупнее,— пододвигает ко мне Павел отдельно лежащую сельдь.— Ее длина около тридцати двух сантиметров. Ей не меньше восьми лет. Ястык у нее пустой.

Таких сельдей в Баренцевом море мы уже не находим. Она отметала икру, очевидно, в середине или конце марта. Сейчас эта сельдь усиленно откармливается после нереста. Желудок ее набит крупными рачками-черноглазками длиной по два-три сантиметра каждый.

На койке, перед тем как заснуть, я продолжаю думать об одном и том же. Значит, здесь, у Лофотен, нерестятся и те крупные, старые мурманские сельди, о которых говорил на ученом совете Михаил Павлович. Почему же их нет в Баренцевом море? Куда они деваются после нереста? Куда уходят на откорм? Ведь это крупные, жирные сельди. Где их найти, чтобы широко наладить их промысел?

Целые сутки отстаивались мы под защитой мыса с маяком Андё. Распутаны все сети, отдохнули люди. На море еще штормит. Очень не хочется идти опять в болтанку. А сроки поджимают. Скоро из-за этих проклятых штормов мы попадем в цейтнот. Приходится сниматься с якоря.

За мыском нас встретил штормовой юго-западный ветер. Снова началась сильная качка. Лицо слепил густой снег с дождем.

Еще двое суток обследуем мы материковую отмель на широте островов Лангё и Аннё. За короткие промежутки относительного затишья успеваем сделать здесь еще двенадцать станций. Личинки сельди попадают в наши сетки почти на всей отмели. Но они разной длины. Есть малюсенькие, только что вылупившиеся, длиной по шесть-семь миллиметров, а есть и покрупнее, по десяти — одиннадцати миллиметров. Эти, вероятно, принесены сюда

---

* Текучими называются вполне созревшие рыбы, у которых при легком поглаживании брюшка свободно вытекает икра или молоки.

течением с уже обследованной нами южной части нерестилищ.

К 23 апреля ветер стих. Только с севера, где над горизонтом нависли густые, черные тучи, катилась пологая крупная зыбь.

Закончив большой разрез, мы опять подошли к мысу Аннёнес, где брали станцию шестнадцать дней назад. Пики гор за это время потемнели: стаяло много снега.

Было ясное утро. Над поселком струились дымки: норвежские хозяйки топили печи. Из-за остроконечных гор поднималось большое красное солнце.

При просмотре в лаборатории очередной планктонной пробы в бинокуляр через прозрачные стенки кишечника
у одной личинки сельди просвечивали две маленькие личиночки рачка калянуса. Значит, в жизни личинок сельди произошло знаменательное событие. Они повзрослели. До этого времени они кормились питательными веществами, содержащимися в желточном мешке. Этим желточным мешком их снабдила мамаша-сельдь еще в икринке. С ним личинки вылупились из икринки. Он растянулся у брюшка каждой личинки. Теперь питательные вещества желточного мешка израсходовались, и личинкам пришло время самим промышлять себе пищу. Вот они и стали охотиться за еле видимыми простым глазом личиночками планктонных рачков.

Морские течения и рыбы

В штурманской рубке на карте поставили точку, где была намечена полусуточная станция для измерения течений. Войдя в эту точку, измерили глубину — 214 метров.

Якорь, прикрепленный к траловому ваеру, ушел в воду. Как только он зацепился за грунт и «Персей» развернулся носом на течение, всем бросилось в глаза, что течение здесь нешуточное. Мимо быстро проносились отдельные медузы и оторвавшиеся от прибрежных камней водоросли.

Вспомнилось, как в июле 1935 года мы на «Персее» встали на якорь из-за густого тумана милях в двадцати к северо-востоку отсюда. Было тепло, и нашим ребятам вздумалось искупаться. Я догадался об этом, услышав из своей каюты всплески воды, и в следующее мгновение уже был на палубе. Ребята явно не учли скорости течения. Они нырнули со средней палубы, а вынырнули уже у кормы и сразу поняли опасность: через несколько минут их должно было унести сильнейшим течением в густой туман.

Лаборант Сережа был отличный пловец. Он с огромным напряжением подплыл к борту и взобрался на палубу. Алек был чемпионом по плаванию среди студентов своего университета. Лаборант же Герман плавал плохо, и его стало быстро уносить в туман. Алек подхватил его и стал тащить к судну. Но все же течение относило их от кормы. Быстро начали раздеваться матросы. В этот момент ихтиолог Михаил Рыженко удачным броском попал в лоб Герману пустым ведром, привязанным к длинному шкерту (тонкая веревка). Тот вцепился в ведро. Ребят вытащили.

Итак, мы начали полусуточную гидрологическую станцию. С севера к нам катилась ленивая зыбь. «Персей»

медленно покачивался на ней.

Гидрологи измеряли течения. Они опускали на разные глубины вертушку — прибор, показывающий скорость и направление течения в данном слое воды. На соседней лебедке Леонид и Павел через каждые четыре часа брали серию проб воды с разных глубин и измеряли температуру.

Течение в районе нашей станции было направлено неизменно на север или северо-восток. Во время прилива скорость его доходила до четырех километров в час, а при отливе уменьшалась до полукилометра. В среднем же огромная масса воды Североатлантического течения, прижимаясь к берегам Норвегии, проходила около острова Аннё по пятнадцати — двадцати километров за сутки.

Немного северо-западнее острова Аннё Североатлантическое течение раздваивается. Меньшая его часть, называемая Нордкапским течением, вливается в Баренцево море. Другая часть гораздо больше. Она называется Шпицбергенским течением. Это течение устремляется прямо на север, омывая с западной стороны остров Шпицберген, и уходит под полярные льды. Сколько же воды несут два конечных разветвления Североатлантического течения?

Морские течения часто сравнивают с полноводными реками. Некоторое сходство между ними, конечно, есть, но масштабы их совершенно различны. Хотя Нордкапское течение сравнительно небольшое, оно, по имеющимся подсчетам, вносит в Баренцево море ежегодно количество воды примерно лишь в два раза меньшее, чем годовой сток всех рек земного шара. Шпицбергенское течение ежегодно уносит на север еще большее количество воды.

Вот каковы масштабы морских течений! В их водах живет несметное количество разнообразнейших живых существ. Многие из них не могут плыть против течения, и их увлекает вместе с собой водный поток. Такова судьба планктона и

некоторых тепловодных рыб. Потом они или возвращаются с противотечениями обратно, или в конце концов заносятся в гибельные для них места, где и умирают. Многие рыбы приспособились метать икру в таких местах, откуда народившуюся молодь сносит течением в богатые пищей районы. Направляясь к местам нереста, рыбы придерживаются струй течений, которые и служат им часто дорогами на нерестилища. Даже некоторые обитатели дна — бентос, расселяясь, используют течения. Сами эти животные сидят на грунте, но ежегодно выбрасывают в толщу воды своих мельчайших личинок. Некоторое время личинки плавают в воде (как планктон), где их подхватывает течение и переносит на новые места. Там личинки опускаются на дно и превращаются во взрослых придонных животных (если, конечно, там есть подходящие для этого условия).

Проникая в более северные широты, воды теплых течений постепенно охлаждаются, смешиваясь с холодными водами Арктики и отдавая тепло в находящийся над ними воздух. Недаром течение Гольфстрим называют «печкой Европы».

К сумеркам полусуточная станция была закончена, и мы — уже в темноте — выметали дрифтерные сети.

Утром в наших сетях оказалось лишь две сельди. Одну склевали чайки, тучей вившиеся вокруг «Персея». Вторая рыба попала в нашу лабораторию. Это была такая же крупная сельдь, какую мы поймали на предыдущем дрейфе. Длина ее равнялась тридцати двум сантиметрам.

Может быть, севернее острова Аннё сельдь не нерестится? Это покажут ближайшие два-три дня. Только бы продержалась хорошая погода!

Погода продержалась. Она словно раскаивалась в тех безобразиях, которые чинила нам до этого. Продвигаясь со станциями на северо-восток, к вечеру мы вышли на склоны обширной подводной долины. Эта долина тянулась от острова Сенья.

Милях в тридцати от берега взяли пробу планктона. Зеленой мути в сетке оказалось мало. В баночке прыгали розоватые молодые рачки калянусы, которыми питается сельдь.

Перед носом «Персея» снова вытянулись двадцать дрифтерных сетей.

Легкий восточный ветерок с берега, нажимая на корабль, растягивает сети. Над головой — безмерное звездное небо. Внизу — темная вода. Далеко на юго-востоке то вспыхнет, то погаснет огонек маяка.

Утром сети были выбраны. В них попало порядочно сельдей.

— Поглядите, какие они красивые! — кричал Леонид.— Да разве такую красоту представляют себе те, кто их солеными в магазинах покупает! Это же настоящее живое серебро!

Эти крупные сельди были в самом деле очень красивы. Спинки их отливали фиолетовыми, синими и зелеными тонами, а на серебристых боках проступали розоватые оттенки. Рыбы энергично бились хвостиками, когда их клали на измерительную доску.

И здесь сельди были разные. Самые крупные, длиной по тридцать — тридцать три сантиметра, давно отметали икру. Сельди помельче, длиной по двадцать семь — двадцать восемь сантиметров, находились в самой поре икрометания. При малейшем нажатии на брюшко из них вытекали икра или молоки.

Наливаем в банку морскую воду, выпускаем туда икру прямо из текучей самки. Помешивая воду и икру вращательными движениями, добавляем туда же молоки из самца. Икра накрепко приклеилась к стенкам и дну банки. На наших глазах икринки быстро разбухли. Диаметр их увеличился почти вдвое.

— Теперь, товарищи ихтиологи, заботы у вас прибавилось. Постарайтесь стать рыбоводами. Воду в банке меняйте, каждый час измеряйте температуру. И внимательно следите за состоянием икры. Увидим, насколько быстро она развивается.

Интересно, конечно, будет вернуться в Мурманск с живыми личинкам нашей мурманской сельди! «Персей» продолжал продвигаться на север и северо-восток. Личинки сельди встречались все реже. Они были крупными, по восемь-двенадцать миллиметров. Ясно, что они вылупились не здесь. Продолжая ловы, мы следили за сносом личинок течениями с южной части нерестилищ.

В следующую ночь сделали еще один лов сетями против острова Рингвассё. Поймали лишь три сельди. Они были крупные, одна имела в длину тридцать пять сантиметров. Все они уже отметали икру и начали откармливаться после нереста.

Конец экспедиции

Итак, краснеть перед Михаилом Павловичем не придется: мы оказались правы. Нерестилища сельди находятся там, где мы предполагали. Отдельными пятнами протянулись

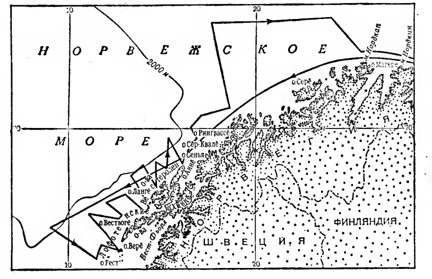


Рис. 59. Маршрут экспедиции на «Персее» в 1938 г.

они более чем на триста километров от острова Рёст до острова Рингвассё на склонах прибрежных мелководий. Сильнейшие струи Североатлантического течения отлично промыли и утрамбовали здесь гальку, покрывающую дно. В апреле вода прогревается до температуры около шести градусов. Это как раз такая температура, при какой размножаются сельди. Они приходят сюда и здесь на глубине полутораста-двухсот метров выметывают икру на чистое ровное дно. Из икры вылупляются личинки. Нордкапское течение подхватывает их и несет в Баренцево море, где личинки превратятся во взрослых сельдей. Взрослые сельди проживут в Баренцевом море пять-шесть лет, пока не созреют, а потом отправятся сюда же метать икру. Все это нам показали наши исследования. Куда же уходят крупные сельди после нереста? Необходимо и эту загадку разгадать. Она того стоит!

И вот «Персей» взял курс по разрезу от острова Нур-Квалё на северо-запад. Снова над нами нависли тяжелые облака, льет дождь, под ногами раскачивается палуба.

Отойдя на сто семьдесят километров от берега, повернули на восток. Выходили на последний разрез, располо-

женный к северу от Нордкапа. Ветер дул нам в корму. Почему-то у «Персея» всегда прибавляется ходу, когда он поворачивает в сторону дома.

— Как лошадь к конюшне! — шутит Казимирович.

28 апреля я сидел в радиорубке. Восемнадцатый день у нас не было радиосвязи с Родиной.

Радист, надев наушники, усердно обыскивал эфир. Вдруг послышалось отдаленное, еле уловимое попискивание морзянки. Радиста словно электрическим током ударило.

— Советские траулеры! — воскликнул он и ухватился за ключ.

Мягко заурчал передатчик. Заработал ключ.

— Я «Персей»! Я «Персей»! Как слышишь меня? Перехожу на прием,— выстукивал радист.

Начинаю читать выбегающую из-под его карандаша радиограмму от моих близких. Радист с далекого траулера сообщает, что эта радиограмма уже две недели странствует по траулерам. Все озабочены нашей судьбой. Пока наш радист объясняет нашу ситуацию, набрасываю две радиограммы: одну — краткий отчет в институт, другую — домой. Сегодня же они будут в Мурманске.

Наступило первомайское утро. «Персей» весь украсился праздничными флагами.

Вот справа по борту остается позади городок Вардё. Не очень далеко слева видны силуэты больших кораблей. Их несколько десятков. Казимирович рассматривает их в бинокль.

— Ну вот мы и дома! — поворачивается он к нам.— Это советские траулеры работают.

На следующий день мы причалили к Мурманскому порту. Нас встречали друзья.

— Поздравляю вас с крупнейшим успехом! — обнимал нас Михаил Павлович.

Мы быстро обменивались впечатлениями с Юлием Юльевичем Марти и Юрой Болдовским.

— Так там, говоришь, много сельдей старших возрастов?

— Не только много, а они преобладают. Не уходят ли они на откорм по Шпицбергенской струе течения?

Вдруг вбежала Маруся.

— Родились! Выклюнулись! — кричала она.

— Кто родился? — обернулся к ней Михаил Павлович.

— Личинки, личинки! Из той икры, которую мы у острова Сенья взяли,— протянула ему Маруся стеклянную банку.

Михаил Павлович поднес банку с плававшими в ней личинками к иллюминатору.

— Так вот они, лофотенские малыши. Наконец-то мы держим в руках живых личинок наших мурманских сельдей!

II. В Гренландском море

Немного истории

Что же происходило после того, как мы установили места 361
икрометания мурманской сельди?

В 1939 году два научных судна Полярного института под руководством Ю. Ю. Марти обследовали восточный край Шпицбергенского течения у западных отмелей Медвежьего острова и Шпицбергена. Здесь были обнаружены значительные скопления крупной откармливающейся сельди. Дрифтерные сети давали за улов по две, три, пять и даже более тонн жирной, отличной по качеству сельди. До этого в восточной части Гренландского моря никто никогда сельдь не промышлял.

Теперь ученым приходилось доказывать необходимость развития лова этой сельди в новых районах. На ожесточенные споры ушел весь 1940 год. В конце концов удалось добиться того, что в июне 1941 года на сельдяной лов в Атлантике вышел опытный капитан — промысловик В. А. Егоров. 18 июня он обнаружил скопления сельди недалеко от южной части Шпицбергена. А через три дня началась война. Вскоре в районах наших исследований закипели морские бои, рвались мины и торпеды, тонули корабли.

Многие мои друзья — морские исследователи — погибли, сражаясь за Родину. Погиб и наш «Персей». Четырнадцать фашистских воздушных пиратов бомбили его 10 июля 1941 года во время последнего научного рейса, когда «Персей» направлялся к Рыбачьему полуострову, чтобы забрать оттуда раненых бойцов. Его обломки долго лежали на отмели в Мотовском заливе около Ейны-губы. После войны — летом 1946 года — маленькое научное судно Полярного института «Рында» смело отправилось в воды Шпицбергенского течения. Обходя плавающие на волнах мины, «Рында» дошла до назначенного места и установила, что там по-прежнему в промысловых скоплениях откармливалась крупная сельдь. Надо было спешить. Летом

1947 года в Атлантику отправилась пробная экспедиция в составе трех научных и четырех промысловых судов. Начальником экспедиции был назначен Ю. Ю. Марти. Он вызвал меня в качестве своего помощника. И вот я опять в Мурманске.

Меньше всего мне нравилось само судно, рейс на котором я должен был возглавить. Это был изрядно потрепанный с изношенной машиной промысловый комбайн «Кашалот», признанный рыбтрестом непригодным для промыслового лова. Между тем нам предстояло обследовать на нем весь район, где работали суда экспедиции: изучить течения, температуру воды, распределение пищи сельди — планктона, разобраться в том, как связаны со всеми этими особенностями скопления сельди.

Мы выходили последними. Ю. Ю. Марти на судне «Книпович» и В. А. Бородатов на маленькой «Рынде» вместе с промысловыми судами уже находились в районе работ экспедиции.

28 июня 1947 года поздним вечером мы отошли от причалов Мурманска и направились к выходу из Кольского залива. Из головы не уходили мысли о предстоящем рейсе. Тем труднее он мне казался, что со мной не было прежних верных помощников, с которыми я привык работать до войны. На этот раз в научном составе нашего судна было только двое мужчин и пять женщин.

Снова в море

На море штиль. Поверхность воды гладкая, матово-серая. На ней четко отражаются высокие кучевые облака. В редких разрывах туч иногда блеснет яркое солнце. Но под гладкой морской поверхностью перекатывается идущая с севера зыбь, и наш «Кашалот» покачивает с носа на корму.

Обогнув мыс Цып-Наволок на полуострове Рыбачьем, «Кашалот» взял курс на северо-запад. Погода стояла теплая, штилевая. Но к вечеру 1 июля, когда далеко на юго-западе скрылись берега Норвегии, барометр начал падать. На западе, со стороны Норвежского моря, на горизонте показалась длинная, низкая гряда облаков. Порывами, постепенно усиливаясь, задул холодный ветер. На палубе появился боцман, проверявший крепления палубного оборудования. Правда, это было далеко не то, что нам пришлось испытать в апреле 1938 года, когда обследовали нерестилища сельди. Тогда нас трепали

восьми-, девятибалльные штормы. Теперь же сила ветра достигала лишь пяти-шести баллов по двенадцатибалльной шкале.

3 июля шторм окончился.

— Вас просят на мостик,— обратился ко мне вошедший в каюту матрос.

Вот уже два дня, как мы шли без навигационных определений: мешал стоявший над волнующимся морем плотный туман. Мы не знали точно нашего местоположения. А надо было подойти к Медвежьему острову, чтобы строго от его южного мыса начать свой первый разрез на запад, в Гренландское море.

На мостике капитан А. А. Карпин и старпом обсуж- 363
дали создавшееся положение. Предполагаемая линия нашего маршрута проходила по карте на северо-запад в нескольких милях восточнее Медвежьего острова. Видимость была около трех миль. Наши навигаторы тщетно вглядывались в туман влево от курса «Кашалота», ища там долгожданную Медвежку (так называют промысловики Медвежий остров). Промеры глубин не сходились с картой. Отдав распоряжение двигаться прежним курсом, я вышел из рубки. Сырой, пронизывающий туман закрывал горизонт. Вокруг летало несколько чаек. Мимо «Кашалота» просвистела крыльями и скрылась в тумане вереница черных белобрюхих острокрылых птиц величиной с утку. Это были кайры. Они направлялись прямо на север. За ними деловито протянулась вторая стая, через некоторое время — третья. Они летели точно одна за другой, будто нанизанные на одну нить,— все на север. В бинокль было видно, что подклювья у птиц раздуты. В двух клювах я рассмотрел рыбешек. Ясно было, что кайры возвращались к себе на гнездовье с кормом для птенцов. Гнездовье было на Медвежьем острове. Значит, Медвежка находилась к северу, а вовсе не к юго-западу от нас. Я точно, по компасу, заметил направление полета птиц.

Прошло полтора часа. За это время «Кашалот» сделал еще 12 миль на северо-запад. Вереницы кайр тянулись и здесь, но уже не на север, а почти на северо-восток. Я помнил, что массовое гнездовье — птичий базар — кайр расположен именно на отвесных обрывах южного мыса Медвежки. По всем этим данным выходило, что южная оконечность Медвежьего находится в пятнадцати милях от нас, на северо-востоке. Капитан и старпом взглянули на меня скептически.

Нанесли на мой маршрут промеры глубин. Они полностью совпали с обозначенными на карте.

— Попробуем! — все еще недоверчиво уронил капитан, давая судну новый курс — на северо-восток.

Прошли восемь миль. Вдруг впереди резко прояснилось, туман раздвинулся, и в семи милях от нас среди клубящихся облаков показались контуры земли. Это был Медвежий.

— Та-ак,— протянул старпом, рассматривая мыс в бинокль.— А я, признаться, крепко сомневался.

«Кашалот» остановился недалеко от Медвежьего острова. Механики заявили, что машине нужен ремонт. Пришлось десять часов пролежать в дрейфе.

Над морем носились облака тумана, которые временами скрывали остров. Южная часть острова вдавалась в море обрывами высотой больше 300 метров. На карнизах этих обрывов бурлили птичьи базары. Там гнездились тучи моевок, чистиков, немного крупных чаек. Больше всего было так называемых короткоклювых кайр. Это они привели нас к Медвежьему острову.

Вокруг «Кашалота» плавали сотни птичьих стай. Вытянув шеи, кайры с любопытством рассматривали нас блестящими черными глазами. Мимо судна непрерывно пролетали вереницы птиц.

К западу и к югу от «Кашалота» видны были дымы и силуэты многочисленных пароходов. Это иностранные траулеры ловили треску. Они промышляли на склонах Медвежинской банки — в любимом промысловом районе англичан, французов, немцев.

Пока чинили машину, меня позвал радист:

— Хотите послушать разговоры наших судов?

Надеваю наушники. В них шум, писк, треск. Вдруг отчетливо раздается старческий голос:

— Говорит «Гроза», говорит «Гроза». Сегодня в квадрате «Нина-12» взял три тонны сельди, три тонны сельди...

«Гроза» — это наше судно. Три тонны — для начала прекрасно! Где же это? Смотрю на карту — это на 77° северной широты, прямо к западу от южного конца Шпицбергена, примерно в двухстах милях от нас. А вот голос моего знакомого — капитана «Сазана» Геннадия Павловича Королькова. Он собирается подойти к «Грозе». Вдруг щелчок — и четкий голос Юлия Юльевича:

— Опасайтесь! На 76°10′ северной широты и 05°40′ восточной долготы замечена плавающая мина. Опасайтесь!!!

Опять это проклятое наследие войны!

Гренландское море

Наконец машину починили, и «Кашалот» начал разрез через Гренландское море, на запад от Медвежьего острова, пересекая струи мощного теплого Шпицбергенского течения.

Первые три станции никак не ладились. Неприспособленное судно не входило в рабочий ритм. Рвались тросы, не срабатывали счетчики глубин, оборвалась и утонула планктонная сеть. Пришлось перематывать тросы, менять дночерпатель, оборудовать новую планктонную сеть — словом, делать тысячу дел. В конце концов все мы были вымотаны до предела. Еле двигались руки и ноги. Даже Лена Павштикс — наш веселый планктонолог — всплакнула от злости и усталости. Но все же «Кашалот» и его оборудование были приведены в рабочее состояние.

К вечеру 4 июля мы уже шли над океаническими глубинами. До морского дна было больше двух километров. Небо покрылось облаками. Временами моросил дождичек. Мы были увлечены обычной работой. Тем более резким диссонансом ворвался тревожный голос впередсмотрящего:

— Справа по носу мина!

Большая и круглая, она покачивалась на волнах, показывая свои ржавые бока, а на торчащих кверху рожках балансировала, помахивая крыльями, большая чайка-моевка. Мы обошли мину на большом расстоянии.

— Серьезная штуковина! — сказал гидролог Георгий Николаевич Зайцев.— Один раз налетишь — и всё.

Не только у нас этот день был суматошным. В вечерней радиосводке капитан «Грозы» сообщал: к нему в сети попало столько сельди, что под ее тяжестью все буи утонули, наполненные рыбой сети вертикально ушли в воду, вожаковый канат не выдержал и лопнул. Сети погибли. На борт удалось поднять только две сети. В них было две тонны рыбы.

Здесь, в Гренландском море, характер зыби, шедшей с юго-запада, стал иной, чем в Баренцевом море. Это была пологая и длинная атлантическая зыбь, заставлявшая «Кашалот» все время приседать и раскланиваться.

Гренландское море — это арена вечной борьбы между теплом и холодом. Оно является северным продолжением Норвежского моря. На западе Гренландского моря — Гренландия, на востоке — Шпицберген и остров Медвежий. В западной половине моря из Северного Ледовитого океана выходит холодное Восточно-Гренландское течение и, прижимаясь к берегам Гренландии, направля-

10
20
30
80
80
о Северо-Восточная Земля
о Западный
Шпицберген
о Баренца
о Эдж
Льды
ГРЕНЛАНДСКОЕ
МОРЕ
зал. Хорнсунн
Шпицбергенское
БАРЕНЦЕВО
МОРЕ
о.Медвежий
НОРВЕЖСКОЕ
МОРЕ
Нордкапское
п-ов Варангер
Варде
п-ов Рыбачий
70
70
НОРВЕГИЯ
ФИНЛЯНДИЯ
ШВЕЦИЯ
СССР
Мурманск
Норвежское
Течения
10
20
30

ется на юг. Температура воды этого течения ниже нуля. На своей поверхности она несет массы плавающего льда. Именно этим течением среди огромного потока льда в январе и феврале 1938 года вынесло от Северного полюса легендарную льдину с лагерем наших героев-папанинцев, прославивших советскую науку. Здесь был затерт льдами дерзновенно пробивавшийся к заветной льдине небольшой зверобойный бот «Мурманец». Здесь же наконец прорвались к папанинцам ледокольные пароходы «Таймыр» и «Мурман» и 19 февраля благополучно сняли со льдины людей, за судьбой которых тогда следил весь мир.

В противоположной — восточной — стороне от этого царства льдов движется к северу мощное теплое Шпицбергенское течение. Толща этого течения достигает 600—800 метров от поверхности моря. Ниже его подстилают холодные арктические воды, которые проникают до максимальных глубин Гренландского моря (3500—3900 метров). Встречаясь одно с другим, эти два течения образуют много огромных водоворотов, где смешиваются теплые и холодные воды. По нашему мнению, струи теплого Шпицбергенского течения служили дорогами, по которым крупная сельдь двигалась к своим местам откорма, находящимся в районах смешения холодных вод с теплыми. Чтобы организовать успешный промысловый лов сельди, надо было обстоятельно изучить особенности всех этих участков.

Пройдя за двое суток около 400 километров, мы закончили наш разрез, пересекавший струи теплого течения. «Теплыми» эти струи можно назвать, конечно, только здесь, среди царящего вокруг холода: температура их не превышала шести градусов по Цельсию. Но такую воду можно считать очень теплой, если справа и слева от течения температура воды нулевая или ниже нуля.

«Кашалот» повернул на северо-восток и взял курс на южную оконечность Шпицбергена, выходя к восточному краю Шпицбергенского течения, где мы предполагали найти скопления сельди. Нас встретил штормовой шести-семибалльный ветер. Навстречу катились большие волны. «Кашалот» прыгал на них, как крохотная щепка. Резкая и стремительная качка «восьмеркой» бросала людей из стороны в сторону.

◄

Рис. 60. Маршрут экспедиции на «Кашалоте» в 1947 г.

Постепенно мы приближались к судам нашей экспедиции. Все слышнее и отчетливее становились в наушниках радиста голоса друзей. За эту ночь «Сазан» взял первый улов в три с половиной тонны сельди, а малютка «Рында» поймала больше двух тонн.

«Полярный залом»

Заканчивалось седьмое июля,— и вот мы снова подошли к восточному краю течения. Наступил «вечер», хотя и с солнышком. Измерения температуры показали, что мы находимся в типичных атлантических водах, нагретых до 6,5°С.

Ветер почти затих, волна спала, качка почти прекратилась.

— Скорее! Скорее! Они прыгают! — кричала примчавшаяся в мою каюту ихтиолог Оля Михалап.

— Кто прыгает? Куда?

Оля молча схватила меня за рукав и потащила на палубу.

Матовая поверхность моря слегка волновалась. Вдруг всплеск — и какая-то рыба выскочила на поверхность, подпрыгнула и опять упала в воду. Вон еще одна, за нею другие. Рыбы длиной примерно тридцать сантиметров. Спинки темные, бока серебряные.

— Да это же сельдь! — кричит Оля, не выпуская моего рукава.

Действительно, вокруг судна в самых разных направлениях плескалась, выпрыгивая из воды, наша долгожданная сельдь. Надо было выяснить, как далеко мы от края течения.

«Кашалот» тронулся дальше на северо-восток и через четыре мили остановился. Температура воды здесь была +2,9°. Это и был самый край течения. За бортом виднелись стайки узких полупрозрачных существ длиной по четырепять сантиметров. Тело их было окрашено в красноватые и лиловатые оттенки. Быстро размахивая парой треугольных крылышек, расположенных у головы, они шныряли во все стороны почти под самой поверхностью воды. Перегнувшись через борт, Лена ловко поддела одного из них сачком. В банке с водой он плавал тоже очень энергично. То был крылоногий морской моллюск «морской ангелок» (по-латыни — «клион»). Здесь — это холодноводный житель, показатель наличия арктических вод. Значит, воды теплого течения в этом месте уже почти нет. Капитан по-

ворачивает судно на обратный курс, а мы с помощницами с носа корабля начинаем следить за поверхностью моря.

Сначала под поверхностью густыми стаями плавали ангелочки. Это было еще царство Арктики. Через 15 минут они исчезли. Температура воды стала 6,4°,— значит, мы снова в Атлантике.

Мелькнули темные спинки рыб. Они плывут тесной стайкой, их пять штук; это сельди.

Напуганная приближающимся судном, стайка метнулась в глубину. А вон впереди еще стайка. В ней четыре сельди. Дальше — еще восемь штук. Сельдь здесь держится маленькими стайками.

Через 15—20 минут мы снова на том месте, где плескалась сельдь.

С северо-запада дул слабый ветерок. Выставить надо было 50 сетей длиной по 30 метров каждая. В одних сетях ячея была одного размера, в других — другого. Выставить их надо было на различной глубине или, как говорят промысловики, в разных горизонтах. Только таким путем можно было выяснить, какими сетями и на какой глубине лучше ловить сельдь нашим промысловым судам.

Пока опускали в воду весь этот длинный ряд сетей, «Кашалота» все время относило ветерком дальше к юго-востоку. В конце концов наш порядок сетей вытянулся в виде волнистой линии в направлении с северо-запада на юго-восток почти на полтора километра в длину.

К утру северо-западный ветер засвежел до шести баллов. В восемь часов пришлось начать подъем нашего порядка. Выборка сетей шла прекрасно.

Первая часть порядка состояла из сетей с меньшей ячеей. Сельдей в них было лишь десятки штук. На глубине сельдь тоже почти не попадала. Но вот подошли сети с 32-миллиметровой ячеей. В них сельди было много. Некоторые из них, заполненные рыбой, блестели под водой, как серебряные полотна. Матросы азартно выбирали их из воды и стрясали сельдь на палубу.

Итак, сельдь здесь была. Она билась на палубе, разбрасывая во все стороны блестящую чешую. Рыбы было более полутонны. Вся сельдь была крупная, длиной от двадцати девяти до тридцати трех сантиметров, жирная, мясистая, с толстыми, мягкими спинками. Это была такая же крупная сельдь, какую мы в 1938 году ловили у Лофотен. Но тогда, в апреле, она была истощена после нереста, почти без жира. Теперь же смотришь на нее — и слюнки текут. Это и был наш «полярный залом», как мы ее называли по аналогии со всем известным каспийским заломом.

Результаты нашего дрейфа обсуждались во всех подробностях. Промысловые суда экспедиции находились теперь в 60—80 милях от нас, то есть в пяти-семи часах хода. Капитан «Сазана» Корольков так и сказал:

— «Кашалот» нашел для нас неплохую резервную кладовую. Будем иметь ее в виду.

Пинагоры

В наших сетях кроме сельди запуталось несколько тупорылых рыб с массивной головой и высоким телом. Это были пинагоры. Поверхность их грубой синевато-серой кожи испещрена множеством костных выростов и бугорков. На спине торчит кожный гребень, а брюшные плавники образуют на плоском брюхе большую присоску, при помощи которой пинагор может прочно прикрепляться к камням. Ясно, что эта рыба не относится к хорошим пловцам. Зато у нее есть все приспособления для жизни на каменистых грунтах среди растений в прибрежной полосе. Действительно, пинагоры очень многочисленны у берегов Норвегии и Мурмана. Немало их я видел также в заливах Белого моря и у берегов Исландии.

Пожалуй, самая интересная особенность пинагора — это забота о потомстве.

Когда приходит пора икрометания, самки откладывают на камни среди водорослей оранжевую или малиново-коричневую икру. На этом роль мамаш заканчивается, и они беспечно уходят в глубины. Все дальнейшие заботы о потомстве ложатся на самцов, которые несколько мельче самок.

Отложенная икра слипается в комки, прикрепленные к камням. Заботливый папаша держится около комка. Он не только охраняет икру от различных врагов, но и обмахивает комок грудными плавниками, или, как говорят, «аэрирует» воду (обогащает ее кислородом), не давая при этом мути оседать на икру.

Самцы охраняют икру около двух месяцев, пока из икринок не вылупятся похожие на головастиков малечки, снабженные присосками. Молодые рыбки начинают расплываться, присасываться к плавающим водорослям и вместе с ними довольно широко разносятся по морю.

Почему пинагоры — типичные жители прибрежных вод — часто встречаются в Норвежском и Гренландском морях? Почему они попадают в сельдяные сети над океаническими глубинами? Должен сказать, что этой загадки я так и не разгадал.

Далеко впереди между облаками и клочьями тумана завиднелись берега Шпицбергена. Сначала они казались низкими и плоскими. Но это были лишь подножия прибрежных гор, верхние части которых скрывались за облаками. Пеленговаться по таким искаженным очертаниям берега было, конечно, нельзя. «Кашалот» продолжал идти по курсу, и вдруг, словно по волшебству, все изменилось. Туман впереди расчистился, и нашим глазам открылись острые, изломанные пики гор, покрытые снегом. Над ними висели грозные облака, а по долинам к морю спускались синевато-белесые полосы ледников — глетчеров. «Кашалот» подходил к устью Хорнсунна, самого южного залива, вдающегося в западный берег Шпицбергена.

По 77-й параллели

Запеленговавшись по южному мысу Хорнсунна, «Кашалот» повернул на запад и направился к первой станции нового разреза. Мы намеревались пересечь Шпицбергенское течение по семьдесят седьмому градусу северной широты.

Первую станцию начали всего в пятнадцати милях от Шпицбергена. Отвесные скалы его берегов и отливающие синевой ледники казались совсем близко. Вокруг нас плавали отколовшиеся от глетчеров куски льда и несколько не особенно крупных айсбергов — плавучих ледяных гор. Между ними на воде колыхались многочисленные стайки люриков. Это широко распространенные в Арктике птички. Длина их тела не больше двадцати сантиметров. За небольшой размер их часто называют морскими воробьями.

Вода была холодная. Только верхний десятиметровый слой был «прогрет» до плюс одного градуса, а глубже температура воды доходила до минус одного градуса. Такая вода называется переохлажденной. Она не замерзает потому, что в ней много солей, а соленая вода замерзает при более низкой температуре, чем пресная. Трудно было ожидать, чтобы в этой арктической воде была сельдь. Поэтому мы направились дальше на запад.

Вскоре, однако, работы пришлось прервать. С севера на нас яростно набросился семибалльный ветер. Он срывал гребни волн и осыпал «Кашалот» холодной водяной пылью. Так продолжалось сутки. Только к полудню 9 июля снова взялись за дело. Сделали еще несколько станций. Здесь, в море, массами развивался фитопланктон. Мы решили выметать сети, чтобы еще раз проверить, как относится сельдь к районам «цветения» моря.

Утром в сетях, как мы и предполагали, сельди было мало: всего попало около 50 килограммов. Для нас это была очень интересная и показательная проба. Сельдь из зоны сильного развития фитопланктона почти не питалась: здесь не было планктонных рачков — ее основной пищи.

Главное внимание в этом улове привлекла запутавшаяся в сетях крупная пикша. Длина ее тела была восемьдесят три сантиметра. Как же могла попасть в сеть на глубине лишь десяти метров от поверхности эта типичная придонная рыба, если до дна в этом месте было более полутора километров?

Пикша была сильно истощена. Тело ее очень исхудало, отчего голова казалась огромной. Желудок и кишечник были пусты.

На наших радиосовещаниях капитаны время от времени тоже упоминали, что в их сетях над океаническими глубинами запутывались пикши. Впоследствии такие странные тощие пикши нередко попадали в наши сельдяные сети, главным образом в восточной части Шпицбергенского течения. Как можно объяснить эти встречи? Предположительно можно думать, что такие заблудившиеся рыбы по какой-то причине потеряли ориентацию. Течения уносят их с прибрежных отмелей на краю континентальной ступени в район с большими глубинами. Здесь они не могут опуститься ко дну, чтобы питаться бентосными животными: их останавливают низкая температура и сильное давление глубинных слоев. Волей-неволей такой пикше приходится держаться в верхних слоях и по мере возможности питаться планктоном. А эта пища пикше несвойственна. Естественно, что пикша истощается, слабеет, а течения тем временем неукоснительно влекут ее на север к неминуемой гибели подо льдами Полярного бассейна.

Продолжая разрез по 77-й параллели, мы увидели недалеко силуэт «Сазана». Сегодня его капитан на радиосовещании сообщил, что у него в сети сельди навалило столько, что порядок затонул, но вожак еще держит. Посмотрев, как энтузиасты «Сазана» продолжали выборку порядка, мы милях в десяти от них выметали утром свои сети. После полудня приступили к выборке.

Сети шли почти пустые. Редко в них поблескивали единичные сельди. В чем же ошибка? Спустили за борт планктонную сетку.

Сетка вернулась на палубу вся зеленая. Так и есть — здесь опять скопление фитопланктона. Но ведь когда мы начинали метать сети, там не было диатомовых водорослей. Дело ясное: значит, мы выметали сети поперек гра-

ницы района, где скопились водоросли. А если так, то во второй, дальней от нас половине порядка, по чистой воде, должна быть сельдь. И действительно, из оставшегося десятка сетей матросы натрясли более трех тонн сельди. Она массами скапливалась у границы района «цветения». «Сазан» взял здесь на этот раз восемнадцать тонн. Таких уловов в экспедиции еще не бывало.

К утру следующего дня мы пересекли основную часть течения и вошли в арктические воды. Температура воды на поверхности оставалась еще около четырех градусов, но ниже ста метров температура была уже отрицательной. В воде плавали многочисленные морские ангелочки, крупные рачки — темисты и другие планктонные животные.

Когда мы стояли на последней станции разреза, около «Кашалота» появился небольшой кит. Его восьмиметровое тело было прекрасно видно в прозрачной морской воде. Кит явно заинтересовался нами. Он долго плавал вокруг судна, несколько раз подныривал под киль, осматривал корабль со всех сторон. Часто он высовывался из воды метрах в пяти от нас, рассматривая маленькими живыми глазками стоявших у борта людей. Когда кит поворачивался, на каждом грудном плавнике отчетливо виднелась широкая белая полоса. По этому признаку легко было распознать малого полосатика — мелкого кита, питающегося не только планктоном, но и рыбой.

14 июля мы снова приблизились к Шпицбергену и, следуя на север вдоль выступавших кое-где из тумана скалистых берегов, подошли к устью Ис-фьорда. Здесь мы начали наш последний и самый северный разрез на запад по 78-й параллели северной широты.

У ледяной стены

В 13 часов 30 минут 16 июля «Кашалот» находился примерно в двухстах километрах от берегов Шпицбергена. Вдруг на полном ходу судна машина остановилась. Заклинил поршень в третьем цилиндре. А когда его оттуда выбили, оказалось, что цилиндр деформировался и покрылся внутри трещинами. В него не входили ни старый поршень, ни запасные.

Начали ремонт.

Чтобы судно не сносило ветром, пришлось встать на «водяной якорь»: выпустили тридцать дрифтерных сетей на вожаковом канате. Так прошло трое суток.

Меня все больше охватывала тревога: нас по равнодействующей течения и ветра должно было неуклонно увлекать прямо на север. Где-то недалеко уже кромка плавучих полярных льдов, которые здесь особенно толсты и прочны. Встреча с ними ничего хорошего не сулила, особенно при довольно сильном волновом прибое. Близость льда ощущалась все явственнее. В воздухе стоял густой холодный туман, температура понизилась до +2,8 градуса. Все чаще мимо нас пролетали стайки кайр и тупиков.

В 4 часа утра 20 июля по трапу раздался топот.

— Срочно... просят... на мостик! — докладывает запыхавшийся матрос.

374 Через полминуты я на мостике.

Туман немного разогнало ветром. К западу и северу кромка сплошного льда. В бинокль видно, что лед тяжелый, паковый. Ясно различимы отдельные ропаки. Шестибалльный юго-западный ветер гнал лед на северо-восток. Наши сети вытянуты параллельно кромке, а течение, движущееся на северо-запад, поджимает нас ко льду.

— Как машина?

— Еще несколько часов надо! — сквозь зубы бросает стармех.

— А если отрубить сети и попытаться отыграться на парусах?

Капитан молча указывает на восток. В сильный бинокль видно, что лед стоит и там. Он заворачивает у нас за кормой. Если отрубиться от сетей, то вскоре нас будет бить об лед на востоке. А прибой там должен быть особенно сильным. Настоящий ледовый мешок. И снова все закрыло туманом.

7 часов 30 минут. Туман опять немного разнесло. В полумиле от нас оскалилась плотная кромка тяжелых паковых льдов. Айсберги и нагромождения торосов торчат выше мостика «Кашалота». Льды тянутся сплошной стеной, в которую с грохотом и брызгами бьет безудержный прибой крупной, пятибалльной волны. В этом прибое можно продержаться минут пять, не больше. Ледовых креплений на «Кашалоте» нет.

Приготовлены спасательные шлюпки и аварийный запас. Все тепло оделись. Уложены в шлюпки ценнейшие научные материалы. Радист связался с «Сазаном». Вкратце описываю Геннадию Павловичу наше положение, сообщаю наши координаты. «Кашалот» находился на 78°20′ северной широты и 03°20′ восточной долготы.

— Ясно! — волнуясь, но раздельно говорит капитан «Сазана».— Немедленно полным ходом иду в ваш район.

До вас сутки хода. Держитесь, как сумеете. Сделайте все, чтобы продержаться. Иду на помощь. Буду искать ваши шлюпки у кромки льда.

Мы с капитаном не отрываемся от биноклей. Туман снова расчистило, и мы видим, как на юго-запад небольшим мысом выдвигается высокая ледовая стена. Возможно, что кромка за этим мысом заворачивает к северу. Во что бы то ни стало мы должны проскочить мимо этого мыса! Но нас тянет прямо на него.

— Переставить вожак вправо от носа! Руль лево на борт! — командует капитан.

— Нет, пожалуй, не пройдем. Надо выбирать вожак. Этим дадим ход судну, немного продвинемся и заставим корабль слушаться руля.

— Все на выборку сетей! — раздается новая команда.

Матросы, штурманы, девушки, юнга, повариха — все набрасываются на толстый канат вожака. Пробуем выбирать его, крутя вручную якорную лебедку. Это требует невероятных усилий.

Каната в воде было семьсот метров. Когда выбрали около пятисот метров, зловещий паковый мыс стал медленно проплывать вправо метрах в пятидесяти от нас. Совсем рядом казались его синие ледяные гроты, в которые врывалась волна с грохотом, похожим на пушечные выстрелы. Но нам было не до того, чтобы любоваться этой красотой. Люди едва могли двигаться от усталости.

Ледяной мыс, удаляясь, скрылся в тумане. На северовостоке затихал его гром и скрежет. Перед нами действительно была чистая вода. Это, конечно, был какой-то залив в ледовой кромке.

Люди вздохнули свободнее. В ледовом заливе сделали научную станцию. Судя по всем показателям, мы находились в типичной воде Шпицбергенского течения, которое уходит здесь подо льды Арктики.

Издали, с севера, к нам снова приближался лед. Но такой опасности уже не было. Во-первых, волна совсем прекратилась: видимо, ее сдерживал лед на юго-западе. Во-вторых, лед здесь был довольно разреженный. Обречены были только сети — их уже подносило ко льдам.

В 12 часов 45 минут машина издала, наконец, первый вздох. Она бездействовала ровно четверо суток. Мы вошли во льды, старательно оберегая баграми и шестами винт и руль корабля от толстых, пропитанных водой льдин, и начали выбирать из небольших полыней остатки наших сетей. Льдины облепляли сети, и они расползались как паутина.

В конце концов удалось выбрать весь вожаковый канат, почти все поводцы и бочата, две целые сети и подборы с обрывками остальных двадцати восьми сетей.

Прежде всего надо вернуть «Сазана» к работе и поблагодарить Геннадия Павловича. Иду в радиорубку.

— Вот и прекрасно! — слышится в наушниках радостный голос Геннадия Павловича. Я почему-то был уверен, что вы сами справитесь. Поверну теперь обратно к своей селедке, а то я к вам уже около пятидесяти миль пробежал.

Хорошо жить и работать среди таких верных друзей. В происшествии с нами оправдалась пословица «нет худа без добра». В жалких обрывках сетей около нижних подбор было много сельдей. Они виднелись и в кусках сетей, валявшихся на льдинах. Мы извлекли из обрывков больше ста рыб. Это была ценнейшая, уникальная научная проба. Чуть не потеряв судно, мы совершили самый северный в мире дрейф с сельдяными сетями. Оказалось, что сельди здесь усиленно питаются: желудки их наполнены рачками темистами. Значит, откармливающиеся сельди продвигаются к северу вплоть до самой кромки плавучих льдов. В одном куске сети запуталась крупная пикша, длиной восемьдесят четыре сантиметра. Вот куда их уносит течение.

Вскоре мы выбрались из льдов на чистую воду. Взяли курс сначала на юг, а потом на юго-восток. Покатилась мощная зыбь. «Кашалот» стал переваливаться с борта на борт. На душе просветлело: машина постукивает, судно цело, целы и мы все. Ну а с потерей сетей можно в конце концов примириться. Тем более что они были уже довольно старые.

Итак, мы двигались на юг. За очередной дрейф попало лишь несколько центнеров сельди, хотя всю ночь она выскакивала из воды и плескалась на поверхности. Здесь же вилось немного чаек-моевок. Временами они ныряли и выхватывали из воды каких-то мальков.

— Так это же мальки трески! — удивляется Оля, вскрывая желудки нескольких крупных сельдей.

Да, это мальки трески. Они выклюнулись из икры, отметанной крупными тресками весной у Лофотенских островов. В Гренландском море сельдь лакомится мальками трески, а в Баренцевом море сами сельди попадают в желудки взрослой трески. Да и здесь — в Гренландском море — крупная треска нередко питается сельдями.

Домой

К вечеру 25 июля мы оказались милях в восьмидесяти к северо-западу от Медвежьего острова. Здесь мы выметали наш последний дрейф. Сегодня мимо нас прошел домой «Сазан». В его трюмах полный груз сельди. Геннадий Павлович прислал нам благодарственную телеграмму.

Выйдя утром 26 июля на мостик, я увидел неприглядную картину. Штормовой юго-восточный ветер силой семь-восемь баллов гнал по большим волнам седую пену гребней. Вожак сетей натянулся струной и со свистом резал волны, как ножом. Всюду видны были только пена, брызги и косые штрихи дождевых капель. Я поднялся в штурманскую рубку.

— Вот полюбуйтесь на него,— сердито показал капитан на безмятежную физиономию старшего механика.— Обрадовал! Говорит, что у него машинного масла в обрез. На трое-четверо ходовых суток осталось.

Решили выбирать сети, несмотря на шторм. Объявлен аврал. Матросы, одетые в непромокаемую робу и шапки-зюйдвестки, выстроились на палубе, окатываемые волнами и брызгами. С ними были боцман, тралмейстер, старший помощник и третий штурман. Александр Александрович сам стал у руля и поставил к машинному телеграфу второго штурмана. И началось!

Капитан мастерски вел судно. Матросы, что называется, рвали и метали. Рыбы в сетях оказалось довольно много. После окончания дрейфа мы направились против волны к дому, обходя с северо-востока Медвежий остров. На носу корабля дежурил тепло одетый боцман. Внезапно в рубке раздался усиленный рупором его голос:

— Айсберг справа по носу!

— Лево руля! — тотчас отозвался капитан.

Айсберг высился над водой метров на пятнадцать и сидел нижней частью на грунте, примерно на пятидесяти-шестидесятиметровой глубине. Об эту ледяную гору бились волны. Казавшиеся в тумане фантастическими, очертания айсберга отсвечивали синевой.

Проплыли мимо нескольких таких «стамух». Миновали большую, какую-то весьма неуютную круглую мину, качавшуюся на волнах. К ночи в тумане стало еще хуже видно, хотя с мостика пытались осветить путь прожектором. Встречи с айсбергами можно было уже не бояться, так как мы сошли с отмелей Медвежинской банки. Но около еще одной мины мы проскочили метрах в сорока. А пере-

жидать было нельзя: машинного масла оставалось в обрез. Приходилось идти полным ходом.

Утром 30 июля показались туманные берега Норвегии. Ветер стих. Вокруг расстилается спокойная матовая поверхность моря. В разрывах облаков сияет солнце. Тепло.

Справа от нас башенка маяка Цып-Наволок. Огибаем мыс и направляемся к устью Кольского залива. Под нами уже родные воды.

В половине второго ночи 31 июля на последних килограммах машинного масла «Кашалот» пришвартовался к причалам Мурманска.

Еще одна страница вписана в книгу знаний о жизни

северных морей и о биологии нашей атлантической сельди.

III. К стране рыбного изобилия

Наступил 1948 год. Уже с весны мы начали готовиться к продолжению работ по освоению запасов атлантической сельди.

Стратегический план был таков. Небольшая группа судов будет продолжать обследование нашего северо-восточного района, а более значительная флотилия промысловых кораблей во главе с крупным грузовым судном-маткой «Тунгус» направится в район Исландии.

Вечером четырнадцатого июня все мое оборудование было доставлено на причал Мурманского рыбного порта. Вдалеке на рейде стоял готовый к отходу «Кораблестроитель», на котором мне предстояло плавать больше трех месяцев. Это недавно построенное сварное цельнометаллическое судно ходило со скоростью девять-десять узлов.

Ко мне быстрыми шагами подошел плотный, коренастый моряк в форменной фуражке.

— Капитан «Кораблестроителя» Яков Алексеевич Гунин,— улыбаясь, представляется он.

На следующее утро «Кораблестроитель» уже бороздил волны Кольского залива. Позади следуют остальные суда нашей «эскадры» — мои знакомые по прошлогоднему рейсу логгеры «Книпович», «Гроза», «Сазан».

На палубе холодно, противно. Дует семибалльный северо-западный ветер. Из низких облаков временами сыплется снег с крупой. Спускающиеся к воде горы покрыты большими пятнами снега.

В экспедиции на «Кораблестроителе» участвовали два человека, специальность которых была тогда новой для

рыбной промышленности: Андрей и Алик были гидроакустиками. На их попечении находились ультразвуковые локационные приборы — эхолот и гидролокатор.

Пользуясь эхолотом для измерений глубины, океанографы часто замечали, что между поверхностью моря и дном ультразвук «натыкается» на какие-то другие препятствия. В результате на ленте самописца эхолота появляются дополнительные изображения.

Гидролокатор посылает ультразвук не отвесно, как эхолот, а горизонтально под поверхностью воды. Благодаря этому ультразвуковым «лучом» гидролокатора можно, не сходя с места, прощупывать слои воды впереди и по бокам судна и обнаруживать рыбу в верхнем тридцати-пятидесятиметровом слое.

На нашем пути мы пересекли теплые струи Атлантического течения примерно на тысячу километров южнее того места, где в прошлом году воды этого течения увлекали наш «Кашалот» к полярным льдам. Затем «Кораблестроитель» вошел в холодные воды Восточно-Исландского течения.

Еще ближе к Исландии вода снова потеплела. Это было течение Ирмингера. Оно несет в себе теплые атлантические воды и огибает Исландию с юга, запада и севера, отепляя ее. Благодаря этому у северных берегов Исландии создаются богатейшие места для откорма сельдей.

Включив акустические приборы, мы направились к северо-восточной оконечности Исландии — мысу Ланганес, измеряя по пути температуру воды и глубину, беря пробы планктона, прощупывая лучом гидролокатора слои воды вокруг судна.

Впереди по курсу чувствуются какие-то помехи, похожие по отзвукам на стаи рыб.

Корабли выметали свои сети в тех местах, где наш гидролокатор отмечал помехи, похожие на скопление рыбы. В сетях оказалось около восьми центнеров сельди.

— Ничего, что маловато, зато первая исландская! — радуется Яков Алексеевич. А мне нужно было взять планктонные пробы, измерить температуру воды, проанализировать пойманную рыбу. Помощников-лаборантов у меня не было, и все научные исследования приходилось вести одному. Когда-то еще подойдет «Тунгус», на котором должны прибыть два гидролога! А пока — хотя мне помогали и штурманы, и боцман, и матросы — я разрывался на части. Сельдь была примерно такая же, как прошлогодняя из района Шпицбергена. Длина ее — от двадцати девяти до тридцати четырех сантиметров, в

среднем тридцать два сантиметра, вес — триста двадцать граммов. Сравнительно недавно она отметала икру, а сейчас усиленно откармливалась. В желудках у нее были рачки калянусы, черноглазки и мальки песчанок.

Еще сутки продолжаем обследовать тот же район. Сельдь есть везде, но очень уж слабы ее концентрации. Где же искать плотные скопления? Наш поиск в этом месте мы начали потому, что именно здесь теплое течение Ирмингера смешивалось с холодным Восточно-Исландским течением. Не передвинуться ли к западу и северо-западу, поближе к более теплым водам?

Направились к мысу Ланганес, а от него к северу. За нами следовал «Книпович». На ходу измеряли температуру воды и прощупывали море гидролокатором. Отзвуки от рыбных стай постепенно уменьшались и наконец прекратились. Так прошло с час.

— Туда ли идем? — нервничал Яков Алексеевич.

— Впереди по курсу намечаются косяки,— доносится из акустической по телефону голос Алика.— Они сгущаются. Они становятся гораздо плотнее, чем вчера... Вот мы уже среди больших косяков! — кричит Алик.

Быстро ознакомившись с планктоном, связываемся по радио с «Книповичем». Тот свернул в сторону и начал выметывать порядок, а «Кораблестроитель» двинулся дальше. Голос Алика звучал все возбужденнее:

— Косяки еще гуще... Они плотной стеной окружают судно... Таких еще не было!

Делаем станцию. Температура воды скачком поднялась до семи с половиной градусов, планктон весьма подходит для сельди. Пользуясь поднявшимся ветерком, быстро выметали пятьдесят сетей.

Утро 25 июня встретило нас полным штилем. В семь часов все заняли свои места. Началась выборка. За семь часов всеобщего аврала выбрали все сети и засолили восемь тонн сельди.

Продолжая обследовать скопление сельди, мы при помощи акустических приборов установили, что оно занимало примерно около тридцати квадратных километров. Нанесли его на карту и сообщили о нем по радио всем нашим промысловым судам.

Вечером я еле дотащился до койки. Видимо, начался грипп.

В полузабытье я слышал, как работала корабельная машина. Когда все затихло, в каюту вошел сияющий Яков Алексеевич.

— Прошли миль пятнадцать дальше к северу,— гово-

рит он.— Акустики обнаружили вокруг плотные помехи. Выметали сети прямо в самую рыбу.

— Да ведь здесь же должно быть скопление фитопланктона, которого сельдь не любит!

Приходится встать с койки и подняться на палубу. Прошу взять пробу планктона. В ней множество слизистых хлопьев фитопланктона с резким неприятным запахом. Рыбы здесь не должно быть. Но почему же локатор показывает скопления? Новая загадка!

Утром начинаем выбирать порядок. На борт лезут почти пустые сети. На палубе — уныние, ругань по адресу акустиков. А наши логгеры доложили по радио, что к югу, за пределами скоплений фитопланктона, они взяли хорошие уловы.

Трижды после этого приборы отмечали помехи, а сельдей попало несколько штук на весь порядок.

Что же представляли собой помехи, которые наши гидроакустики принимали за «хорошие скопления рыб»? Эти «ложные косяки» отмечались часто в тех местах, где планктонная сетка приносила массу фитопланктона. Хотя сами одноклеточные водоросли очень малы, но они образуют очень плотные, компактные скопления, вызывающие помехи гидроакустики.

Утром тринадцатого июня на пороге кают-компании показался радист.

— «Тунгус»! — кричал он, запыхавшись от быстрого бега.— Встал на якорь в Тистиль-фьорде.

Через несколько часов наше судно, войдя в Тистильфьорд, подошло к матке, приветствуя ее тремя гудками. После минутного молчания «Тунгус» издал низкий, утробный рев.

Это — огромный грузовой пароход, скорее целый город. Он будет забирать у промысловых судов уловы и укладывать бочки в свои объемистые трюмы. Он же будет снабжать всю флотилию топливом, пресной водой, продуктами, бочками, солью и т. п.

Среди множества лиц я ищу глазами так нужных мне двух помощников-гидрологов. Вот они: Всеволод Александрович Леднев и Константин Михайлович Сиротов.

После длительной беседы с начальником экспедиции столовая «Тунгуса» превратилась в лекционный зал с большой аудиторией. Я поделился опытом, какой мы приобрели за восемь дней плавания на «Кораблестроителе».

Затем, распростившись гудками с «Тунгусом», «Кораблестроитель» направился в район, где пять дней назад

нами были обнаружены хорошие скопления сельди. Погода стояла безветренная, но сырая, сумрачная. Моросил мелкий дождик. Именно в такую сумрачную погоду сельдь лучше идет в сети. Вероятно, в такое время она плохо видит нити стоящих в воде сетей.

Днем нанесли на карту обнаруженные косяки, и под вечер Яков Алексеевич торжественно расставлял корабли на рыбу. Суда ложились в дрейф, все шло как по расписанию. Наутро они порадовали нас неплохими уловами.

— Теперь вы можете целиком заняться наукой,— сказал капитан,— а я буду расставлять флот.

Приближался вечер. У «Кораблестроителя» собралось около десятка судов. Яков Алексеевич выстроил их за собой в кильватерную колонну и повел ставить на рыбу. Мы с Всеволодом Александровичем погрузились в сложные расчеты и составление графиков. Прошел час. В лабораторию входит Яков Алексеевич. Вид у него растерянный.

— Помогайте, друзья,— говорит он взволнованно.— Куда она, проклятая, девалась? Весь наш заветный район вдоль и поперек исходил, а локатор рыбы не показывает. Корабли идут за мной. Здорово ругаются. Выручайте!

Быстро измеряя температуру в разных слоях воды, смотрим планктон. Вода за последние два дня потеплела почти на два градуса, планктон стал очень бедный, цвет воды синий. Картина ясная: мы находимся среди вод теплого течения Ирмингера, а не на его кромке, где положено быть скоплениям сельди.

— Течение здесь идет с запада,— говорит Всеволод Александрович.— Очевидно, за эти дни его напор усилился и оттеснил кромку на восток.

— Если так, то, значит, и рыба там,— говорит Яков Алексеевич, направляя судно на восток, а мы возвращаемся в лабораторию заканчивать расчеты.

Скопления действительно оказались на востоке — значит, косяки передвигаются к востоку примерно по четырепять миль в сутки.

Закончив дела в восточном районе, мы двинулись к западу. Вчера и сегодня туда же по два, по три судна тянутся иностранные суда. Решаем следовать за одной из групп этих судов.

Вот уже в стороне от нас остается остров Гримсей. Включаем гидролокатор. Сначала он ничего интересного не показывает, но потом против устья Сиглу-фьорда и дальше на протяжении пяти миль обнаруживаются мощные скопления. Впереди ближе к берегу из дымки слабого

тумана постепенно вырисовывалась солидная флотилия. В ней было не меньше полутораста судов.

За кормой «Кораблестроителя» величественно развевается государственный флаг Советского Союза. В нас впиваются сотни биноклей. Ведь это первое советское промысловое судно в здешних водах. Многие приветливо машут руками. Отвечаем им тем же. Суда исландские, норвежские, финские. Это был флот, собравшийся для лова сельди кошельковыми неводами.

Мы подробно очертили на карте намеченное нами скопление в стороне от иностранной флотилии. Вечером выметали свои сети, а утром вытянули большой улов.

Вскоре, ориентируясь на наши телеграммы, на запад передвинулся почти весь флот экспедиции. Обнаруженное нами скопление состояло из сельдей, заканчивающих откорм в том месте, где течение Ирмингера сталкивалось с береговыми водами Исландии.

Хорошие уловы продолжались примерно десять дней, а затем они постепенно уменьшились, и флот, собравшийся в нашем районе, почти перестал промышлять. Где же сельдь? Не поискать ли ее посевернее, в более холодной воде? Может, там она продолжает откармливаться, еще не успела ожиреть и более подвижна?

Вот уже справа за кормой остается остров Гримсей. Позади нас в воде остаются разреженные стаи сельди. Наконец из акустической раздается свисток.

— Входим в мощный косяк,— докладывает Андрей.

Наши предположения оказались правильными. В охлажденной части огромного круговорота течений между островами Гримсеем и Колбанесью держалось мощное скопление сельди.

Еще десять дней в этом районе успешно промышляли все наши суда, а затем уловы дрифтерных сетей повсеместно резко уменьшились. Зато появились небольшие по размерам, но очень плотные косяки сельди, плещущиеся временами на поверхности. Настало время лова кошельковыми неводами. Этого и ждали иностранные суда, которых собралось в нашем районе не меньше четырехсот.

Кошельковый невод — это целое сооружение. Огромное сетное полотнище высотой в 40—50 и даже 70 метров и длиной от 400 до 700 метров. По верхнему краю полотнища привязаны большие пробковые поплавки, а по нижней подборе — грузила и кольца. Через эти кольца продет длинный металлический стяжной трос.

— Весь секрет в том,— рассказывает на палубе собравшимся слушателям наш дрейфтмейстер Дмитрий Федоро-

вич,— чтобы быстро и точно окружить нашим неводом замеченный на поверхности косяк сельди. Понесутся наши моторные шлюпки борт о борт — на каждой половина невода набрана. Перед косяком развернутся они в разные стороны и по полукружью будут невод сыпать. Обегут косяк и на другой стороне его встретят. Вокруг косяка уже стена неводная стоит. А пока рыба мечется, быстренько стяжной трос выбираем и нижнюю часть невода стягиваем, как кисет с табаком; только кисет сверху затягивается, а невод снизу.

Итак, мы начали тренироваться. Не ладилось то здесь, то там. Несколько заметов вышло неудачных. А косяки плескались на поверхности. Это было занятное зрелище: рыбы бороздили поверхность в разных направлениях, тесно держась одна возле другой и выставляя из воды спинки и верхнюю часть хвостового плавника. Вода вскипала и темнела, как от ветровой ряби. В поперечнике косяки были от пяти до двадцати метров.

Рано утром недалеко от нашего борта вдруг заплескалась сельдяная лента длиной метров пятнадцать, отливающая красновато-коричневым цветом. Яков Алексеевич нажал кнопку аврального звонка. Из матросского кубрика выскочили люди.

Замет был сделан отлично. Впервые у нас в кошельке был заперт косяк. Скоро на палубе билось пять тонн превосходной сельди. Лица у всех усталые, но счастливые.

Кошельковая страда продолжалась. Целыми ночами я сидел над анализами сельдей из кошельковых уловов. Бросалось в глаза, что желудки и кишечники у всех рыб плотно набиты красными планктонными рачками калянусами. У некоторых желудок, кажется, вот-вот лопнет от переполняющей его томатно-красной массы рачков. Видимо, рыб привлекает именно эта пища.

В начале сентября погода резко испортилась. Из-за непрекращающихся штормов решили промысел закончить. Десятого сентября шхуны получили приказ возвращаться на родину.

В ночь на тринадцатое сентября «Кораблестроитель» сквозь сильный северный шторм прорвался к мысу Ланганес. «Тунгус» был уже там. Он стоял в затишье под защитой Ланганеса. «Кораблестроитель» подошел к матке и приступил к погрузке на переход домой.

...Четырнадцатое сентября. Последние гудки. «Кораблестроитель» и тройка остальных логгеров вытягиваются на северо-восток и берут курс на Мурманск. Вот и эта экспедиция окончена.

Открытие океана

Роль Мирового океана в природных процессах, происходящих на нашей планете, а также в жизни всего человечества, общеизвестна. Вместе с тем океан с его разнохарактерными частями — средиземными и окраинными морями — это сложнейший объект научных исследований. Понадобилось несколько столетий, чтобы получить лишь самое поверхностное представление о его глубинах, господствующих течениях, высоте приливов, живых организмах, его населяющих. Сложность исследований в океане можно видеть, например, при измерении скорости и направления течений. Ведь надо в какой-то мере обеспечить неподвижность прибора, которым измеряют. Добиться полного покоя прибора невозможно, поэтому измерение это даст заведомо неверные величины, да и собственное движение судна практически учесть нельзя.

Или другой пример — измерение вертикального распределения температуры в океане. На суше в воздух запускают радиозонд и получают сигналы о температуре на разных высотах, причем траектория движения радиозонда прослеживается с неподвижной точки. Зондирование же водной толщи с судна обязательно содержит неточности в силу неизбежного дрейфа и трудностей точного определения места в открытом океане.

А как изучают дно океана? Если для составления карты местности с любой степенью подробности можно применить инструментальную топографическую съемку или аэрофотосъемку, то данные о строении океанического дна получают путем эхолотного «прослушивания», что не может обеспечить такую же точность измерений, как на суше.

Лишь в самые последние годы проведены геологические исследования на дне Атлантического океана, сравнимые по точности и детальности с тем, что делают обычно геологи на суше. На двух исследовательских подводных лодках и батискафе геологи погружались до глубины 3000 м и

непосредственно наблюдали строение дна, фотографировали его, специальными механическими «руками» отбирали образцы горных пород. Ученые обследовали таким образом очень небольшую площадь, но то, что они непосредственно наблюдали, необычайно ценно для получения точной информации о явлениях и процессах в океане.

Изучение океана стоит очень дорого, и это тоже в известной мере ограничивает прогресс в развитии наших представлений о его природе. На I Международном океанографическом конгрессе в 1959 г. было установлено: океан изучен плохо; изучать его необходимо, но ни одна страна не располагает достаточными материальными средствами и техническими возможностями для всесторонней постановки исследований огромных водных пространств земного шара.

В последующие годы координация усилий многих стран увенчалась выдающимися научными работами, а также созданием атласов по Индийскому океану. Цикл очень сложных работ по рифтовым зонам срединно-океанических хребтов — тоже результат исследований по международной программе.

В рамках ЮНЕСКО учреждена Межправительственная океанографическая комиссия с консультативным органом — Научным комитетом по океанографическим исследованиям.

Весьма серьезные совместные усилия по изучению морей осуществляют социалистические страны. При Совете Экономической Взаимопомощи работает Координационный центр, организующий исследования СССР, Болгарии, ГДР, Польши, Румынии в Балтийском и Черном морях. Обмен информацией и первые совместные экспедиции стран СЭВ дали столь значительные результаты, что многие из них уже используются при проектировании портов и организации рыбного промысла.

Можно без преувеличения сказать, что последние 25—30 лет — это время широкого научного наступления на тайны Мирового океана. Ныне десятки специальных исследовательских судов разных стран ежегодно отправляются в длительные морские экспедиции. Глубины океана изучают с помощью батискафов и подводных лодок. Для различных измерений используется точная современная аппаратура, обработку данных ведут на борту судна электронно-вычислительные машины.

В последнее время происходит бурное развитие всех отраслей человеческой деятельности, связанных с океаном.

Возрос тоннаж морских судов, объем перевозок, потребовались не общие, а всесторонние конкретные сведения о состоянии погоды по маршруту плаваний, достоверные прогнозы состояния моря, возможных размеров поверхностных волн, ледовых условий. Разработаны новые научные методы расчета и предсказания навигационных условий для любого района Мирового океана, создана особая служба морских гидрологических прогнозов. По мере накопления данных и углубления научных исследований все более четко формулировалась крупная планетарная программа изучения взаимодействия океана и атмосферы. Ныне эта программа — «Планетарные исследования глобальных атмосферных процессов» (ПИГАП) — основана на широком международном сотрудничестве. Практическое значение программы чрезвычайно велико. Достаточно строгое математическое описание процессов взаимодействия океана и атмосферы даст основу для надежного прогноза погоды с заблаговременностью на несколько месяцев, необходимого не только для моряков. Можно будет, например, заранее подготавливать соответствующие сорта семян для сухого или влажного лета, холодной или теплой весны. Можно предсказывать наводнения, ураганы и другие стихийные явления, приносящие бедствия, можно, наконец, точно предугадывать любые изменения погоды и соответственно к ним приспосабливаться.

Это одна из важнейших комплексных проблем современной океанологии, и ее решение требует проведения крупных исследований и экспериментов в океане.

Если же говорить, например, о такой отрасли хозяйства, как океаническое рыболовство, то для рациональной организации промысла рыбы и морского зверя в открытых районах Мирового океана, например в Южном океане, омывающем берега Антарктиды, потребовалось тщательное изучение путей миграции промысловых рыб, районов их размножения, нагула и многого другого. Эти исследования составили содержание особого раздела науки об океане — промысловой океанологии. В настоящее время мировое рыболовство достигло такого уровня, что не осталось районов и объектов промысла, которые не подвергались бы интенсивной эксплуатации. Поэтому возникла новая проблема искусственного регулирования биологической продуктивности океана и его важнейших промысловых районов. Совершенно ясно, что переход от рыбного промысла методом «свободной охоты» к культурному морскому хозяйству требует фундаментального научного исследования общих закономерностей развития жизни в океане.

Третья, так сказать, частная практическая задача — использование минеральных ресурсов океана. Обостренный интерес к океаническим минеральным ресурсам связан с ограниченностью запасов этого сырья на суше. В недрах океанического дна известны значительные ресурсы нефти, в верхней зоне шельфа и на пляжах сосредоточены основные промышленные месторождения титана, циркония, монацита. На больших глубинах в открытых районах океана огромные пространства дна покрыты железо-марганцевыми конкрециями. Самые приближенные расчеты позволяют оценить запасы железа, марганца, кобальта, никеля и меди, содержащиеся в конкрециях,

как практически неисчерпаемые. Наконец, растворенные в океанической воде соли — это тоже минеральное сырье, причем промышленное извлечение из воды, например, магния дает основную долю общей добычи этого металла. В недалеком будущем будет найдена достаточно дешевая технология извлечения из океанской воды многих элементов, а опресненная вода, как отход производства, пойдет на снабжение промышленных предприятий и на орошение.

Наряду с перечисленными практическими задачами важный стимул для интенсивных исследований Мирового океана — интересы современного естествознания. Тайна возникновения жизни на Земле не разгадана до сих пор. Несомненно лишь то, что жизнь в какой-то очень примитивной форме зародилась именно в океане. Возможно, первоначальные формы органического вещества образовались именно в океане. Под действием жесткого космического излучения в условиях, когда атмосфера Земли не обладала современными защитными свойствами, на суше организмы не могли бы выжить.

В океане условия обитания живых организмов весьма специфичны. Особенно необычны условия в глубинных зонах, во впадинах, достигающих 8—10 км глубины. Здесь царит полная тьма, температура воды относительно низкая, гидростатическое давление огромно. Вместе с тем такая среда обитания в глубоководных впадинах отличается большой стабильностью в течение длительных геологических периодов. Стабильность условий жизни и невозможность переселения фауны из одной впадины в другую дают большие возможности для реконструкции геологической эволюции океана. Например, установлено, что фауна глубоководных желобов западной части Атланти-

ческого океана в районе Карибского моря имеет много общего с глубоководной фауной близлежащих районов Тихого океана. Значит, можно предположить, что в относительно недавнем геологическом прошлом существовала прямая связь двух океанов и не было Панамского перешейка.

Изучая состав и распределение жизни в океане, ученые получают строго научные данные для решения общих проблем эволюции органического мира, раскрытия законов метаболизма (обмена веществ) и многих других сложных вопросов современной биологии.

Для характеристики внутреннего строения Земли и создания общей теории ее эволюции особенно важные сведения были получены океанологами за последние 20 лет. Сенсационное открытие планетарной системы срединно-океанических горных хребтов, охватывающих огромное пространство океана, заставило по-новому оценить причины эволюции Земли. Было установлено, что толщина твердой земной коры в океане значительно меньше, чем на суше, поэтому, чтобы познать тайны строения земной коры и внутреннего строения Земли, нужно обязательно исследовать дно океана. Вершины и гребни срединно-океанических хребтов оказались разбитыми глубокими ущельями — рифтовыми долинами, со дна рифтов были подняты образцы горных пород, близких по составу к веществу верхней мантии Земли, пока недоступной непосредственному изучению. Вскоре были осуществлены весьма обширные геолого-геофизические исследования в области хребтов и рифтовых долин, и полученные материалы сильно изменили представления о глобальной тектонике Земли. Оказалось, что зоны срединно-океанических хребтов — самые динамичные области земной коры. Здесь происходят ее растяжения по разломам, излияния базальтовой лавы, в результате чего формируются новые участки суши.

Еще более поразительные открытия сделаны при бурении дна океана: оказалось, что нигде не были обнаружены древние осадочные породы, а наибольший геологический возраст определен как верхнеюрский, т. е. менее 200 млн. лет.

Все эти данные позволили обосновать современную систему представлений об эволюции Земли, согласно которой происходит расширение дна океанов, сопровождающееся изменением их очертаний и сложными явлениями «поддвига» океанской земной коры в области, переходной к континентам.

Известно, что подавляющая часть рудных месторождений полезных ископаемых заключена в осадочных породах. Нефть и газ, каменный уголь, агротехнические руды, железо, марганец и многие другие полезные ископаемые образуются в ходе осадочного процесса. Геолог, занимающийся поисками месторождений полезных ископаемых на суше, по различным свойствам горных пород, смене их в геологическом разрезе восстанавливает последовательность событий, приведших к локализации рудной залежи. Однако несовершенство самой методики таких палеогеографических построений приводит к различному истолкованию одних и тех же геологических данных. Это особенно ясно видно при сравнении палеогеографических карт, составленных разными авторами для одной территории. Основная причина такого положения — недостаточная изученность современных процессов осадконакопления в океанах и морях. Лишь изучая во всех подробностях геохимическую обстановку, строение современных морских осадков, их вещественный состав, можно с большой достоверностью описать действительную картину осадочного рудообразования (такой метод исследования называется сравнительно-литологическим). В последнее время получены вполне обоснованные характеристики процесса образования фосфоритов на шельфах, прибрежных россыпей тяжелых минералов в береговой зоне и некоторые другие данные.

Большое значение для прогресса океанологических исследований имеет в наши дни применение новых технических средств и специальных методов. Так, достаточно точные измерения течений стали возможны после создания буйковых станций. Тяжелый якорь устанавливают на дне, от него идет трос к притопленному или поверхностному поплавку. Измерители течений закрепляются на тросе на различных глубинах и автономно работают в течение 10—30 суток.

Совершенно новую картину поверхности дна океана дали фотографии, сделанные специальными глубоководными камерами. Новые представления о тонкой вертикальной структуре водной толщи океана принесли современные высокоточные измерители температуры и электропроводности. Серия датчиков, закрепленных на носителе и буксируемых судном, дает возможность охарактеризовать изменения основных свойств воды на большом пространстве, а датчики, погружаемые в толщу воды, по-

казывают самые незначительные изменения ее свойств по вертикали.

Советские ученые внесли большой вклад в исследования природы Мирового океана. С самого начала планомерного изучения морей, омывающих берега Советского Союза, основная идея исследований состояла в том, чтобы понять природу моря как сложную систему, как цепь связей взаимодействий и отдельных явлений и процессов. Этот общий подход — исследование трансформации веществ и энергии в океане — определил большие успехи в изучении природы северных морей. Динамика водных масс моря рассматривается как результат энергетического взаимодействия с атмосферой. Водные массы изучались также методами химии и с биологической точки зрения — как среда обитания живых организмов. Вещественный состав и строение донных отложений исследовались в связи с динамикой моря, биологическими процессами, рельефом дна и геологией прилегающей суши. В 30-х годах широко развернулись исследования Советской Арктики, основаны постоянные метеорологические станции на берегах арктических морей и на их островах. В 1937—1938 гг. произошло событие огромного научного значения: в районе Северного полюса высадилась знаменитая папанинская четверка — И. Д. Папанин, П. П. Ширшов. Е. К. Федоров, Э. Т. Кренкель. Первая в мире дрейфующая научная станция «Северный полюс» непрерывно работала в Северном ледовитом океане около 9 месяцев. Это ознаменовало новый этап исследований Арктики, которые успешно продолжаются и в наше время.

Начало советских исследований открытого океана связано с работами всемирно известного исследовательского судна «Витязь». В 1949 г. «Витязь» начал свои экспедиции на северо-западе Тихого океана и с этого времени ведет исследования, которые принесли и приносят крупные открытия. Несколько позднее начались работы в Атлантическом океане с корабля науки «Михаил Ломоносов». В 60-х годах исследовательский флот Советского Союза пополнился серией судов, специально спроектированных и построенных для научных исследований. Это «Академик Курчатов», «Академик Королев», «Академик Ширшов», «Профессор Зубов», «Профессор Визе», «Дмитрий Менделеев», «Академик Вернадский». Нет необходимости перечислять названия других исследовательских судов, находящихся в ведении Министерства рыбного хозяйства, Министерства морского флота, Гидрометеослужбы, Ака-

демии наук. Несколько десятков судов различных министерств и ведомств также выполняют определенную программу океанологических исследований.

Открытия, большие и малые, множество добываемых исследователями новых фактов непрерывно пополняют наши представления о природе океана. О некоторых из них следует здесь коротко рассказать, чтобы немного дополнить содержание отдельных очерков, отметить наиболее яркие и значительные достижения советских ученых-океанологов за последние годы.

В области физики океана надо назвать три наиболее важных открытия. Первое из них было сделано учеными

двух крупнейших научных учреждений — Института океанологии имени П. П. Ширшова Академии наук СССР и Морского гидрофизического института Академии наук Украинской ССР. Суть его в том, что в экваториальной зоне было обнаружено и детально исследовано подповерхностное течение, направленное противоположно экваториальному течению, т. е. с запада на восток. Его назвали течением Ломоносова. В западной части Атлантического океана открыто и исследовано Антило-Гвианское противотечение.

После этих советских открытий и исследований удалось связать в единую систему течения тропической и экваториальной зоны океана, Гольфстрим и западные пограничные течения. Практическое же значение этих исследований состоит в том, что на основе анализа переноса тепла течениями Атлантического океана и конкретизации законов взаимодействия атмосферы и океана значительно облегчается разработка метода надежного долгосрочного прогноза погоды.

Второе открытие сделано сравнительно недавно, ему посвящен очерк «Полигон-70». В тропической зоне Атлантического океана был проведен эксперимент большой длительности по специально разработанной программе. Согласно ей, была установлена серия буйковых станций, и на каждой станции непрерывно регистрировались течения на различных глубинах. Измерения длились полгода, причем также периодически выполнялись гидрологические съемки для получения данных об общей фоновой картине динамики вод. После обработки и обобщения полученных данных выяснилась очень важная общая закономерность. Оказалось, что ранее существовавшее представление об относительно равномерном характере постоянного пассатного течения, которое возбуждается северными пассатными ветрами, не соответствует действи-

тельности. Не существует этого потока, этой «громадной реки в жидких берегах». В действительности в зоне пассатного течения движутся огромные горизонтальные водяные вихри с поперечником в десятки километров. Центр такого вихря перемещается со скоростью порядка 10 см/сек, но на периферии вихря скорости течения значительно больше. Это открытие советских ученых было позднее подтверждено американскими исследователями, а в 1973 г. подобные вихри прослежены и другими советскими экспедициями, работавшими на севере Тихого океана.

«Полигон-70» дал столь важные результаты и имеет такое большое научное и практическое значение, что в настоящее время подготавливается международный эксперимент для исследования в широких масштабах явления, открытого советскими учеными. Программа нового эксперимента предусматривает измерения течений в большом районе непрерывно в течение двух лет. Называется программа ПОЛИМОДЕ — Полигон для изучения среднемасштабной динамики океана. Выполнение этой программы, несомненно, дает еще более ценный материал для выяснения и конкретизации проблемы взаимодействия океана и атмосферы.

Третье крупное открытие последнего времени — установление тонкослоистой структуры водной толщи. О том, что в водной толще океана существуют относительно тонкие слои, отличающиеся по температуре и солености (электропроводности), стало известно в 1969 г., когда впервые были выполнены непрерывные и точные измерения с помощью специальных зондов. Однако первоначально это явление было отнесено к категории случайных. Вскоре в советской экспедиции были проведены систематические измерения вертикального распределения температуры и электропроводности во многих районах Мирового океана с весьма различными общими условиями режима. В результате было окончательно установлено, что тонкослоистая структура водной толщи — явление отнюдь не случайное.

Выяснилось, что толщина отдельных слоев воды колеблется от нескольких сантиметров до нескольких метров, разница в температуре на границе слоев достигает десятых долей градуса. Продолжительность существования мелких слоев — от нескольких минут до суток (обычно в течение нескольких часов удается проследить отчетливые границы между слоями, а затем они исчезают). В настоящее время не найдено строгого научного объяснения этого явления.

Много открытий сделано советскими учеными в области геологии и геоморфологии дна океана. Нет необходимости перечислять географические открытия, относящиеся к отдельным поднятиям, горам, впадинам и т. п. в Северном Ледовитом, Тихом и Индийском океанах. Важен тот факт, что советские ученые составили первую достоверную и достаточно подробную карту рельефа дна Тихого океана. Особенность этой карты — новый метод изображения рельефа, отличающийся от принятого до сих пор метода линейной интерполяции глубин. Были изучены характерные особенности различных форм рельефа: глубоководных желобов, поднятий различного протяжения и формы, изолированных впадин, абиссальных равнин. Выполнено также тщательное геоморфологическое районирование и составлена общая картина рельефа. Карта рельефа дна Тихого океана продемонстрировала, насколько далеко от истины было представление о равнинном характере громадных площадей ложа океана. В настоящее время советскими учеными уже создана серия карт рельефа дна, карт и атласов распределения магнитных аномалий и других геофизических характеристик Мирового океана.

Значительные работы по изучению рельефа дна, его геологического строения были проведены советскими учеными в Индийском океане в период работы Международной индоокеанской экспедиции. Геолого-географический атлас, изданный в 1975 г. в Советском Союзе, представляет обобщение результатов этой экспедиции, которая работала по единой программе в течение 10 лет.

В 1967 г. экспедиция Института океанологии, работавшая в Индийском океане на двух судах — «Витязь» и «Академик Курчатов», выполнила широкую программу геолого-геофизических исследований в районе рифтовых долин. Сочетание целого комплекса измерений с глубинным сейсмическим зондированием и драгированием склонов и днищ рифтовых ущелий дало крупные научные результаты и позволило впервые полно и всесторонне описать рифтовые долины как особые районы океанского дна. Это было крупным событием в геологии океана. В настоящее время закончен цикл международных исследований по программе «Рифтовые зоны океана» с участием советских ученых.

Крупные результаты получены в последние 10—15 лет советскими учеными в изучении процессов современного осадконакопления. Составлены хорошо обоснованные карты современных осадков и выявлены три основных типа зональности: климатическая, вертикальная (в зависимости

от глубины) и циркумконтинентальная. Детально изучается вещественный состав современных осадков и общие закономерности его формирования. Успешно развивается новое направление геологических исследований — изучение взвешенного осадочного вещества. Все это позволило предпринять широкое обобщение закономерностей современного осадкообразования как начальной стадии формирования осадочных горных пород.

Советские ученые детально исследовали распространение и состав железо-марганцевых конкреций на дне Тихого и Индийского океанов. Подсчитаны запасы этих руд в разных районах и установлены условия, в которых образуются наиболее богатые руды.

В некоторых районах Тихого и Атлантического океана обнаружены современные рыхлые осадки с повышенным содержанием железа и марганца. Происхождение этих металлоносных осадков не вполне понятно. Одна из гипотез связывает это явление с проникновением горячих рассолов, проникающих через трещины на дне океана. Согласно другой гипотезе, металлоносные осадки образуются в зоне контакта придонной воды с базальтовой лавой в рифтовых ущельях и других участках дна. В раствор переходят соединения железа и марганца, и последующее образование рыхлых осадков сопровождается накоплением металлов. Это явление еще предстоит изучить подробно, и трудно оценить значение такого открытия для общей теории литогенеза.

В последние годы была закончена работа, позволившая четко и последовательно описать процесс фосфоритообразования на шельфе. Этому открытию посвящен один из очерков в предлагаемой книге.

Советскими учеными успешно разрабатывается самостоятельная научная дисциплина — литодинамика океана. Общая задача литодинамики — изучение законов движения и перемещения материала литосферы на дне океана и в придонном слое воды. Уже получены важные научные результаты в области исследования литодинамики верхней зоны шельфа. Установленные общие закономерности применительно к зоне небольших глубин послужили основой для инженерных расчетов при проектировании гидротехнических сооружений в море. Порты, сооружения, укрепляющие берега, морские каналы, их проектирование и эксплуатация базируются на строгой научной основе. Глубоко изучены такие процессы, как естественная сортировка обломочного материала в процессе взаимодействия волн с песчаными наносами. Это

послужило научной основой для анализа условий формирования прибрежных россыпей тяжелых минералов.

Вероятно, ни один из разделов океанологии не отличается таким обилием открытий, как биология океана. В последние 25 лет в водах Мирового океана обнаружено множество животных, до того совершенно неизвестных. Количество новых видов, описанных за это время, достигает многих сотен.

В 1949 г. экспедицией на «Витязе» была открыта жизнь на больших глубинах — в районе Курило-Камчатской впадины. До этого вопрос о возможности существования живых организмов при громадных давлениях вызывал большие сомнения. Некоторые крупные ученые утверждали, что в таких условиях жизнь невозможна. Вскоре удалось детально исследовать особенности анатомии и физиологии глубоководных организмов и выделить зону ультраабиссали в структуре живой материи океана. Дальнейшее развитие исследований фауны ультраабиссали привело к постановке крупной палеогеографической проблемы о древности фауны и самих глубоководных впадин.

Особо следует упомянуть выдающееся биологическое открытие — обнаружение в океане нового типа животных — погонофор. Детальное исследование погонофор было проведено советским ученым, статья которого помещена в данной книге.

Многолетние исследования биологической структуры океана позволили обобщить обширные материалы, и многое оказалось новым, неожиданным. Оказалось, что морской планктон — группа организмов, не способная к самостоятельному перемещению в воде, совершает закономерные вертикальные миграции. Управляют этими перемещениями масс планктона пищевые взаимоотношения различных групп.

Общие подсчеты потенциальной биологической продукции Мирового океана показали, что ее величина несколько меньше биопродукции суши, хотя площадь океана в 2,5 раза больше. Распределена первичная продукция (фитопланктон) в океане очень неравномерно: продуктивны лишь периферия океана и зоны подъема глубинных вод. Преобладающая же площадь океана подобна почти безжизненной пустыне, в которой встречаются лишь атоллы — своего рода оазисы активной жизни.

Общая характеристика «пищевых цепей», от фитопланктона до хищников, показала, что воспроизводство в каждом звене пищевой цепи обеспечивает соотношение про-

дукции и потребления, в среднем составляет один к десяти. Продукция зоопланктона, например, в 10 раз больше, чем потребление его планктоноядными рыбами. Знание этой закономерности позволило рекомендовать и наладить в Южном океане промысел небольшого рачка криля. Вероятно, аналогичный промысел будет организован в северной части Тихого океана, где без всякого ущерба можно добывать рачка калянуса.

В процессе этих исследований недавно было сделано еще одно важное открытие. Оказалось, что в пищевом рационе некоторых видов зоопланктона до 30 % по весу составляют сгустки бактерий. Это значит, что первым звеном пищевой цепи оказывается не только фитопланктон, но и бактерии.

Мы рассказали в пределах возможного о важных успехах советской океанологии, достигнутых уже после тех работ, которые освещены в очерках этой книги. Нам многое стало известно о природе Мирового океана. Однако, судя по недавним открытиям новых фактов и явлений в жизни океана, предстоит еще долгий и сложный путь исследований, установления новых закономерностей, уточнения уже известных, по которым живет голубая стихия.

Океан — резервуар жизни на нашей планете. Он очищает воздух, которым мы дышим, освежает нас влажными ветрами, посылает на поля обильные дожди. Океан соединяет страны и народы самым дешевым видом транспорта. Он кормит людей продуктами, которые в первоначальном виде изготовлены в его водных просторах. Он содержит неисчислимые клады минеральных ресурсов, которые уже иссякают на суше.

Берегите Океан! — призывают ученые. Без него жизнь на Земле невозможна. А чтобы беречь Океан, надо его знать.

Счастливого плавания новым исследовательским экспедициям! Открытие океана продолжается.

Содержание

Океан — вторая вселенная

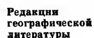
Вечное движение

Земная твердь океанических глубин

* Здесь и далее даются названия журналов и книг, в которых были опубликованы соответствующие статьи.

Жизнь океана

ЗА ТАЙНАМИ НЕПТУНА



Редакции географической литературы

Заведующий редакцией
О. Д. Катагощин

Редактор
Е. И. Белев

Младший редактор
Ю. С. Макаревич

Редактор карт
Л. Ф. Восканян

Художественные редакторы
В. Ф. Найденко,
В. И. Суриков

Технический редактор
Ж. М. Конобеева

Корректоры
Н. С. Приставко,
Т. М. Шпиленко

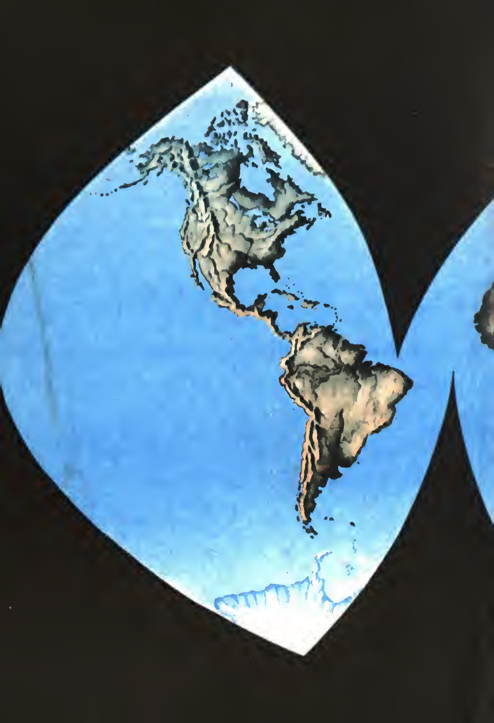
Оформление
и макет серии
Д. А. Аникеева

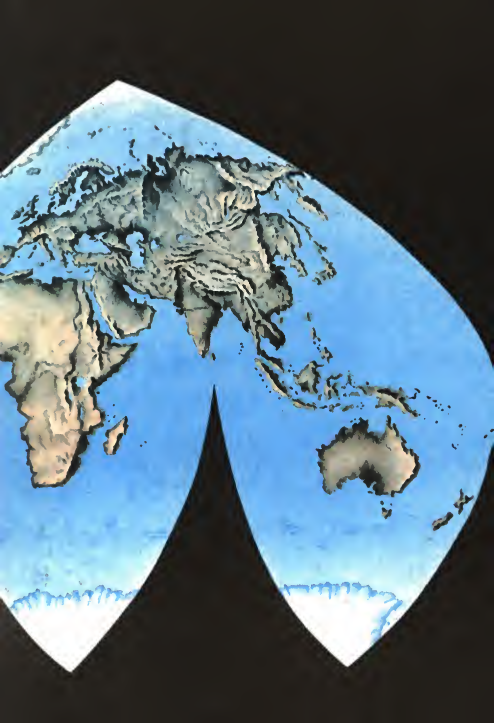
Суперобложка художника
В. С. Горячева

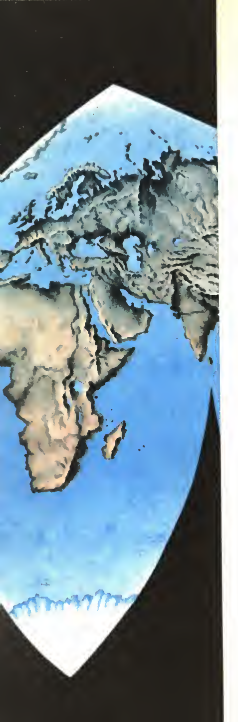
Фотографии
А. В. Живаго,
В. Н. Живаго,
Н. Л. Зенкевича

Сдано в набор 22 апреля 1976 г.
Подписано в печать 11 октября 1976 г.
Формат $60 \times 84^{1}/_{16}$. Бумага типогр. № 1.
Усл. печатных листов 25,11 (с вкл.)
Учетно-издательских листов 24,28 (с вкл.) Тираж 150 000 экз. А 06379
Заказ № 197. Цена 1 р. 41 к.
Издательство «Мысль». 117071.
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Трудового Красного Знамени
Первая Образцовая типография
имени А. А. Жданова
Союзполиграфпрома
при Государственном комитете
Совета Министров СССР
по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли.
Москва, М-54, Валовая, 28.







1 р. 41 к.

